

## УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ НА ОСНОВНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ

### RISK MANAGEMENT AT THE MAIN STAGES OF THE PRODUCT LIFE CYCLE

V. Milova

*Summary.* The article deals with the problem of strategic achievement of quality goals with the help of risk management. Risk management is highlighted as a mandatory element of the management system in the international standards ISO 9000 series version 2015. The requirement under consideration in each organization is solved in its own way, using different models and methods. An approach is proposed for assessing the risk probability of a process based on Markov chains using the provisions of the theory of reliability of complex technical systems.

*Keywords:* risk management, product life cycle, quality, Markov chains.

**Милова Валентина Михайловна**

К.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный университет аэрокосмического  
приборостроения» (ГУАП)  
milovavalentina@gmail.com

*Аннотация.* В статье рассматривается проблема стратегического достижения целей в области качества с помощью менеджмента рисков. Управление рисками выделено в обязательный элемент системы менеджмента в международных стандартах ИСО серии 9000 версии 2015 года. Рассматриваемое требование в каждой организации решается по-своему, используя различные модели и методы. Предлагается подход для оценки вероятности риска процесса на основе Марковских цепей с использованием положений теории надежности сложных технических систем.

*Ключевые слова:* управление рисками, жизненный цикл продукции, качество, марковские цепи.

### Введение

Согласно ГОСТ Р 56136–2014 *жизненный цикл продукции* (ЖЦП) — это «совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации [1].

Как известно, *Стадия жизненного цикла* — это «часть ЖЦ, выделяемая по признакам характерных для нее явлений, процессов (работ) и конечных результатов», выделяемая по признакам моментов контроля (контрольных рубежей), в которые предусматривается проверка характеристик проектных решений типовой конструкции и (или) физических характеристик экземпляров изделий» [2].

На стадии *разработки* выполняются проектирование конструкции изделия, изготовление и испытания опытных образцов, технологическая подготовка производства. На стадии производства выполняется непосредственное изготовление изделий.

Стадия *эксплуатации* подразумевает работы по реализации, поддержке и восстановлению качества изделия, в которое входит в общем случае использование по назначению, транспортирование и техническую эксплуатацию: хранение, техническое обслуживание и все

виды ремонта, кроме тех, которые выполняются на условиях временного вывода изделия из эксплуатации, например, капитальный ремонт.

При *утилизации* осуществляется изменение целевого назначения или уничтожение изделий по причине невозможности или нецелесообразности их дальнейшего применения по основному назначению с обеспечением возможности вторичного использования таких изделий, либо материалов, полученных при их уничтожении (разборке).

Модель жизненного цикла, являющаяся формальным описанием этапов жизненного цикла продукции, представлена в виде петли качества на рисунке 1.

Методика управления рисками на основных этапах жизненного цикла продукции, включает следующие шаги:

#### Шаг 1. Представление процесса в виде Марковской цепи

Деятельность любой организации представляет собой большое количество процессов, однако цепь Маркова можно составить для укрупненных групп процессов или для отдельно выбранных процессов. Таким образом, систему менеджмента качества можно представить, как дискретную управляемую Марковскую цепь взаимосвязанных процессов [3, 4].



Рис. 1. Жизненный цикл продукции

Модель представляет собой граф, в котором вершинами являются стадии моделируемой системы, а дуги — переходные вероятности.

### Шаг 2. Идентификация рисков

Для каждого этапа ЖЦП выявляются риски, которые могут появиться на этих этапах жизненного цикла продукции. Например, на стадии «Проектирование» могут возникнуть такие риски как: риск ошибок в конструкторской документации и риск неверных технических решений.

### Шаг 3. Определение вероятности безотказной работы

В п. 3.6.9 ГОСТ Р ИСО 9000–2015 приведен термин несоответствие (nonconformity), который определен как «невыполнение требования». Невыполнением тре-

бования могут быть простои, задержки, ошибки, дефекты и прочее, то есть то, что не позволяет организации должным образом исполнять процесс производства. Поэтому можно сделать вывод, что применительно к СМК «несоответствие» является аналогом «отказа» в технической системе.

Таким образом, можно провести аналогию между СМК и сложной технической системой, что позволяет применить положения теории надежности для перевода определения рисков в СМК из эвристического в расчетное, базирующееся на вероятностных моделях.

Нахождение вероятности безотказной работы происходит через определение интенсивность отказов  $\lambda$  и времени их появления  $t$ .

Так как все элементы системы характеризуются аналогичной среднестатистической интенсивностью оши-

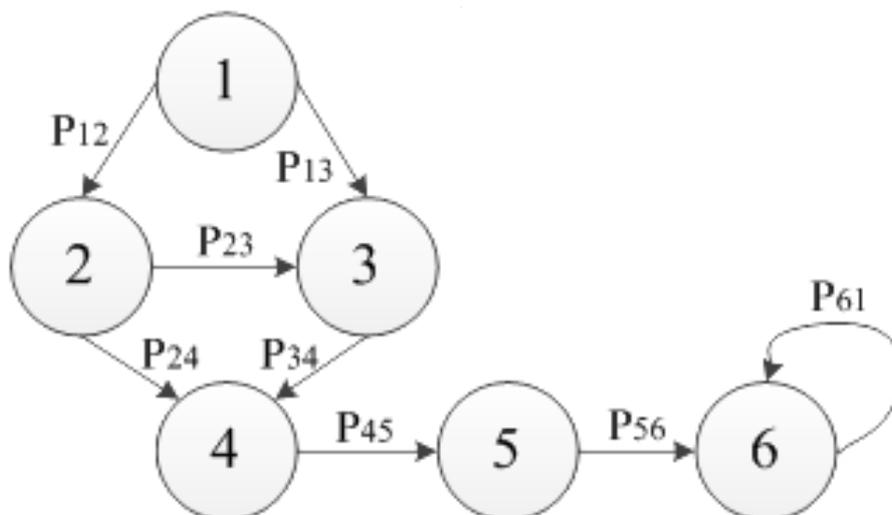


Рис. 2. Дискретная управляемая цепь Маркова

бок, то интенсивность ошибок каждого этапа является суммой интенсивностей каждой ошибки на рассматриваемом этапе.

Интенсивность ошибок рассчитывается на основе данных, полученных в результате мониторинга СМК и внутренних аудитах.

В предположении, что поток отказов представляет собой простейший поток событий, подчиняющийся стационарности, вероятность отказов будет описываться показательным законом распределения, а вероятность наступления отказа будет равна вероятности противоположного события [5]. Это позволяет определить функцию надежности  $P_{б.р.}$  как вероятность исправной работы элемента системы за время  $t$ :

$$P_{б.р.z} = e^{-\lambda_{ом.z} t_{ом.z}}, \quad (1)$$

где  $z$  — номер этапа;  $k$  — номер шага перехода, время которого нормировано.

#### Шаг 4. Определение переходных вероятностей и состояний системы после каждого шага

Так как переходная вероятность определяется как вероятность перехода из одного состояния в другое, то она определяется как вероятность безотказной работы при переходе от одного состояния к другому.

Начальная вероятность  $P_i(0)=1$ , переходные вероятности в данном случае характеризуют понижение вероятности из одного состояния в другое из-за возникновения несоответствий, вызываемых возможными ошибками.

После определения переходных вероятностей находим состояния системы после каждого шага, учитывая в сумме вероятностей только те состояния, из которых возможен непосредственный переход в данное состояние:

$$P_i(k) = \sum_j^n P_j(k-1)P_{ij}, \quad i=1,2,\dots,n. \quad (2)$$

#### Шаг 5. Оценка вероятности риска процесса

После этого получаем выражение для оценки вероятности успешного завершения работы, а вероятность риска невыполнения/некачественного выполнения определяется:

$$P_{\text{риск}} = 1 - P_{\text{успеш}}. \quad (3)$$

#### Шаг 6. Разработка мер по снижению риска некачественной работы процесса

После проведенного анализа полученных результатов, определяется уровень риска процесса, а также слабые места в системе. Составляются предложения по устранению/снижению риска.

#### Апробация методики и рекомендации к практическому применению

От заказчика поступил запрос на создание Микро ПК. Необходимо просчитать вероятность риска процесса и определить процессы с наибольшей вероятностью риска.

Окончанием процесса создания продукта должно стать выполнение заказа с соблюдением всех требова-

Таблица 1. Идентификация рисков на основных этапах жизненного цикла продукции

№ п/п	Этапы ЖЦП	Возможные риски
1	Проектирование	Риск ошибок в конструкторской документации. Риск неверных технических решений.
2	Материально-техническое оснащение (МТО)	Риск закупки сырья и материалов не надлежащего качества. Риск срыва срока поставки. Риск ошибок в заказе сырья и материалов.
3	Разработка технологических процессов	Риск нарушения последовательности технологических процессов. Риск ошибок в технологической документации.
4	Технологическая подготовка производства	Риск ошибки технического обслуживания технической системы, приводящие к неправильной регулировке или калибровке технологического оборудования. Риск отсутствия необходимого технологического оснащения. Риск неправильной организации рабочих мест.
5	Производство	Риск аварий. Риск поломки оборудования. Риск сбоя оборудования. Риск нарушения условий производства (например, влияние температуры внутри цеха на процесс заливки металла в форму) Риск отступление от требований конструкторской и технологической документации
6	Контроль и испытания	Риск высоких погрешностей в оборудовании (некалиброванное оборудование). Риск использования несоответствующих средств измерения. Риск нарушения предписанной процедуры контроля.

ний заказчика, т.е. своевременное завершение производства требуемого объема продукции.

**Шаг 1. Представление процесса в виде Марковской цепи**

Для данного процесса выделены основными этапы ЖЦП:

1. Проектирование
2. Материально-техническое оснащение (МТО)
3. Разработка технологических процессов
4. Технологическая подготовка производства
5. Производство
6. Контроль и испытания

Разработана дискретная управляемая цепь Маркова взаимосвязанных процессов (рисунок 2). Модель представляет собой граф, в котором вершинами являются стадии создания Микро-ПК (основные этапы ЖЦП), а дуги — переходные вероятности

**Шаг 2. Идентификация рисков**

Для каждого этапа ЖЦП выявляются риски, которые могут появиться на этих этапах жизненного цикла продукции (таблица 1).

**Шаг 3. Определение вероятности безотказной работы**

На основе данных, полученных из отчетов о мониторинге СМК и внутренних аудитов, рассчитывается ин-

тенсивность ошибок  $\lambda_{ou,z}$  и плановое время перехода на очередном шаге  $t_{ou,k}$  (таблица 2).

Таким образом по формуле 1 определена интенсивность ошибок на каждом этапе и по формуле 3 рассчитана вероятность безотказной работы каждого этапа жизненного цикла (таблица 3).

**Шаг 4. Определение переходных вероятностей и состояний системы после каждого шага**

Переходная вероятность (вероятность безотказной работы с учетом риска) определяется по формуле 1.

$$P_{12}=P_{13}=P_{6,p.1}=0,85$$

$$P_{23}=P_{24}=P_{6,p.2}=0,17$$

$$P_{34}=P_{6,p.3}=0,85$$

$$P_{45}=P_{6,p.4}=0,63$$

$$P_{56}=P_{6,p.5}=0,95$$

$$P_{66}=P_{6,p.6}=0,98$$

Для того, чтобы система перешла из состояния  $S1$  в состояние  $S6$  необходимо выполнить 6 шагов:

- 1 переход из состояния  $S1$  в состояния  $S2$  и  $S3$ ;
- 2 переход из состояния  $S2$  в состояния  $S3$  и  $S4$ ;
- 3 переход из состояния  $S3$  в  $S4$ ;
- 4 переход из состояния  $S4$  в  $S5$ ;

Таблица 2. Интенсивность ошибок и плановое время перехода на очередном шаге

№ п/п	Этапы ЖЦП	Возможные риски	Интенсивность ошибок $\lambda$ , 1/ч	Время перехода на очередном шаге $t_{\text{ош.к}}$ , ч
1	Проектирование	Риск ошибок в конструкторской документации.	0,0001	80
		Риск неверных технических решений.	0,002	
2	Материально-техническое оснащение (МТО)	Риск закупки сырья и материалов не надлежащего качества.	0,019	40
		Риск срыва срока поставки.	0,018	
		Риск ошибок в заказе сырья и материалов.	0,007	
3	Разработка технологических процессов	Риск нарушения последовательности технологических процессов.	0,003	40
		Риск ошибок в технологической документации.	0,001	
4	Технологическая подготовка производства	Риск ошибки технического обслуживания технической системы, приводящие к неправильной регулировке или калибровке технологического оборудования.	0,0004	40
		Риск отсутствия высокоэффективного технологического оборудования.	0,011	40
		Риск неправильной организации рабочих мест.	0,0001	
5	Производство	Риск аварий.	0,0001	80
		Риск поломки оборудования.	0,0002	
		Риск сбоя оборудования.	0,0002	
		Риск нарушения условий производства (например, влияние температуры внутри цеха на процесс заливки металла в форму)	0,0001	
		Риск отступление от требований конструкторской и технологической документации	0,0001	
6	Контроль и испытания	Риск высоких погрешностей в оборудовании (некалиброванное оборудование).	0,0003	40
		Риск использования несоответствующих средств измерения.	0,0001	
		Риск нарушения предписанной процедуры контроля.	0,0002	

Таблица 3. Вероятность безотказной работы каждого этапа ЖЦП

№ п/п	Этапы ЖЦП	Интенсивность ошибок этапа $\lambda_{ош.з}$ 1/ч	Время перехода на очередном шаге, ч	Вероятность безотказной работы $P_{б.р.з}$
1	Проектирование	0,002	80	0,85
2	Материально-техническое оснащение (МТО)	0,044	40	0,17
3	Разработка технологических процессов	0,004	40	0,85
4	Технологическая подготовка производства	0,012	40	0,63
5	Производство	0,001	80	0,95
6	Контроль и испытания	0,001	40	0,98

5 переход из состояния  $S5$  в  $S6$ ;  
6 возвращение из состояния  $S6$  в  $S6$ .

Тогда, зная значения переходных вероятностей и начальной вероятности  $P_1(0)=1$ , находим состояние системы после каждого шага, учитывая в сумме вероятностей только те состояния, из которых возможен непосредственный переход в данное состояние (формула 2):

Состояние системы после шага 1:

$$P_2(1) = P_1(0) * P_{12} = 0,85$$

$$P_3(1) = P_1(0) * P_{13} = 0,85$$

Состояние системы после шага 2:

$$P_3(1) = P_3(1) + P_2(1) * P_{23} = 0,85 + 0,85 * 0,17 = 0,99$$

$$P_4(2) = P_2(1) * P_{24} = 0,85 * 0,17 = 0,15$$

Состояние системы после шага 3:

$$P_4(3) = P_4(2) + P_3(2) * P_{34} = 0,15 + 0,99 * 0,85 = 0,99$$

Состояние системы после шага 4:

$$P_5(4) = P_4(3) * P_{45} = 0,99 * 0,63 = 0,62$$

Состояние системы после шага 5:

$$P_6(5) = P_5(4) * P_{56} = 0,62 * 0,95 = 0,59$$

Состояние системы после шага 6:

$$P_6(6) = P_6(5) * P_{66} = 0,59 * 0,98 = 0,58$$

Соответственно вероятность успешного завершения процесса равна 58%.

### Шаг 5. Оценка вероятности риска процесса

Зная вероятность успешного завершения работы, найдем вероятность риска процесса:

$$P_{риск} = 1 - P_{успешн} = 1 - 0,58 = 0,42$$

Таким образом, вероятность риска невыполнения/некачественного выполнения составляет 42%. Чтобы улучшить процесс посредством снижения риска были проанализированы полученные переходные вероятности (рисунок 3), которые показали те этапы ЖЦП, на которых риск наиболее велик:

- ◆ Материально-техническое оснащение (МТО);
- ◆ Технологическая подготовка производства.

### Шаг 6. Разработка мер по снижению риска некачественной работы процесса

Чтобы снизить вероятность некачественного выполнения процесса создания Микро ПК, необходимо снизить риски на этапах материально-технического оснащения (МТО) и технологической подготовки.

Рассмотрен подробнее этап «Материально-техническое оснащение (МТО)». По данным таблицы 10 по формуле 1 рассчитана вероятность безотказной работы для каждого риска и рассчитана вероятность риска как обратная величина (таблица 4). По таблице 4 построена диаграмма (рисунок 3).

По диаграмме определены риски, которые в наибольшей степени влияют на риск данного этапа:

- ◆ Риск закупки сырья и материалов не надлежащего качества;
- ◆ Риск срыва срока поставки.

Как видно данные риски связаны непосредственно с поставщиком сырья и материалов, поэтому принято решение о смене поставщика.

Таблица 4. Вероятность риска некачественной работы с учетом риска на этапе «МТО»

Риск	Интенсивность ошибок $\lambda, 1/ч$	Время перехода на очередном шаге $t_{ош.к}, ч$	Вероятность безотказной работы	Вероятность риска некачественной работы с учетом риска
Риск закупки сырья и материалов не надлежащего качества.	0,019	40	0,47	0,53
Риск срыва срока поставки.	0,018	40	0,49	0,51
Риск ошибок в заказе сырья и материалов.	0,007	40	0,79	0,24

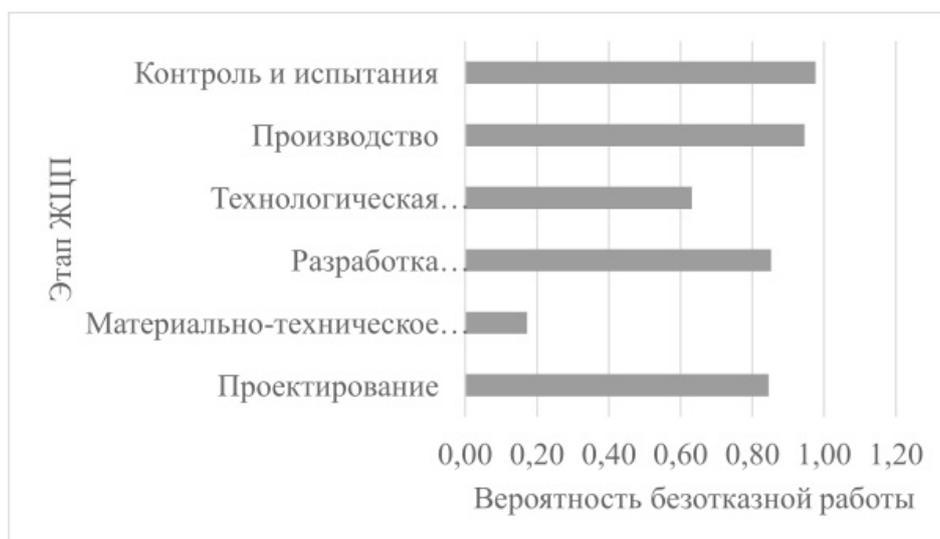


Рис. 3. Гистограмма вероятности безотказной работы каждого этапа ЖЦП

Принято решение выбрать нового поставщика с помощью одного из критериев принятия решений.

Поставщиками электронных и телекоммуникационного оборудования и его запасных частей могут быть ( $X_i$ ): ООО «Аедон», АО «Радиант-эк», АО «Республиканское общество снабжения — специализированная поставка», ООО «Технопарк-инвест»

Параметры, по которым происходит оценка поставщиков ( $S_i$ ): Надежность поставок; Качество продукции; Время исполнения заказа.

Для оценки параметров используются шкалы, представленные в таблицах 5–8. Таким образом, матрица исходных данных по результатам оценки представлена в таблице 8.

Для принятия окончательного решения требуется рассчитать критерии Вальда, Сэвиджа, Гурвица, Лапла-

са и математическое ожидание прибыли. Оценка параметров возможных поставщиков и результаты расчетов критериев показали, что наилучшим выбором будет поставщик под номером № 1– ООО «Аедон».

Так же для снижения риска процесса рассмотрен детально этап «Технологическая подготовка». Для снижения рисков данного процесса было принято решение закупки нового оборудования — автоматической установки компонентов на печатную плату в технологии поверхностного монтажа, основанные на результатах расчётов метода «Стоимость-эффективность».

Подводя итоги апробации, можно отметить, что для того чтобы избежать появления рисков ситуаций необходимо проводить проверку результатов в конце каждого этапа, наладить информационную связь между отделами и использовать предупреждающие мероприятия для снижения риска.

Таблица 5. Шкала оценки параметра «Надежность поставок»

Вероятность соблюдения сроков поставки	Балл
$95\% \leq S_1 \leq 100\%$	3
$85\% \leq S_1 \leq 94\%$	2
$75\% \leq S_1 \leq 84\%$	1
$S_1 \leq 74\%$	0

Таблица 6. Шкала оценки параметра «Качество продукции»

Процент годной полученной продукции	Балл
$95\% \leq S_2 \leq 100\%$	3
$85\% \leq S_2 \leq 94\%$	2
$75\% \leq S_2 \leq 84\%$	1
$S_2 \leq 74\%$	0

Таблица 7. Шкала оценки параметра «Время исполнения заказа»

Время исполнения заказа, дни	Балл
$10\% \leq S_3 \leq 14\%$	1
$6\% \leq S_3 \leq 9\%$	2
$5\% \leq S_3 \leq 7\%$	3
$S_3 \leq 4\%$	4

Таблица 8. Оценка поставщиков по выбранным параметрам

	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$X_1$	3	2	4
$X_2$	2	2	2
$X_3$	2	3	3
$X_4$	2	3	2

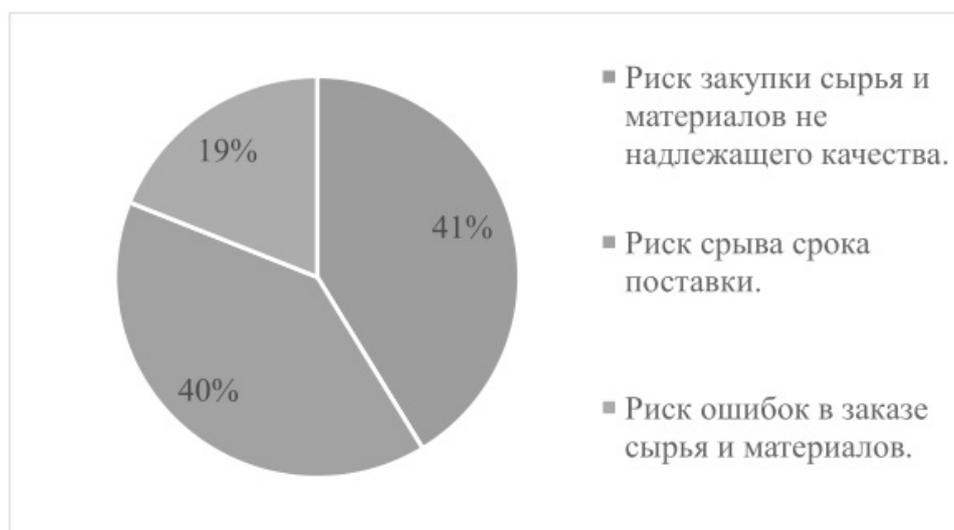


Рис. 4. Диаграмма вероятности риска некачественной работы на этапе «МТО»

## Выводы

Разработанная методика представляет собой вероятностную процессную модель СМК на основе Марковских цепей с использованием положений теории

надежности сложных технических систем, благодаря которой появляется возможность проследить возникновение рисков по цепочкам взаимосвязанных процессов и выявлять пути формирования рисков для их управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 56136–2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения — М.: Стандартинформ, 2016.
2. Связова, Т.Г. Управление рисками в системе менеджмента качества // Вестник московского университета, 2017. № 6. С. 143–167.
3. Шапкин А.С., Шапкин В.А. «Теория риска и моделирование рискованных ситуаций» — М.: Дашков и Ко, 2005. — 880 с.
4. Орлова, О.Ю. Подход к расчету вероятностной оценки рисков систем менеджмента качества на основе управляемых марковских цепей / Орлова О.Ю., Магер В.Е., Леонова Т.И. // Информационные технологии моделирования и управления. 2017. Т. 106. № 4. С. 256–265–0,75 п.л.
5. Лукиных, И.Г. Марковские цепи в задачах курсов прикладной математики / И.Г. Лукиных, М.Н. Подлевских, С.В. Чучалова // Математический вестник педвузов и университетов Волго-Вятского региона. — 2019. — № 21. — С. 167–174.

© Милова Валентина Михайловна ( milovavalentina@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Санкт-Петербург