
МОДЕЛИ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА ПОТЕРЬ НА УРОВНЕ ОТДЕЛЬНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Строев Сергей Павлович¹, канд. экон. наук, доц.

Тинякова Виктория Ивановна², д-р экон. наук, проф.

Русских Татьяна Николаевна¹, канд. экон. наук, доц.

¹ Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, ул. Комсомольская, 95, Орел, Россия, 302026; e-mail: stroewsp@mail.ru

² Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, 73, Москва, Россия, 109004; e-mail: tviktoria@yandex.ru

Цель: в статье разрабатывается математический инструментарий риск-менеджмента, предназначенный для проведения количественного анализа риска потерь отдельного производственного подразделения. *Обсуждение:* концептуальную основу данного инструментария составляет предположение о существовании зависимости уровня риска от объема средств, выделяемых на проведение антирисковых мероприятий. В работе обосновывается использование для аппроксимации данной зависимости семейства дробно-линейных функций. *Результаты:* на базе построенного в работе аналитического представления данной зависимости получены выражения для количественной оценки стартового и финального уровней риска потерь производственного подразделения, а также разработаны модели оптимизации расходов на антирисковые мероприятия.

Ключевые слова: риск потерь подразделения, оптимизация расходов на антирисковую программу.

DOI: 10.17308/meps.2019.10/2223

1. Введение

Представим производственно-технологическую структуру предприятия в виде совокупности связанных между собой подразделений, например, таких как производственные цеха или участки, обслуживающие хозяйства или службы. При этом естественно предположить, что общие потери предприятия формируются за счет потерь на уровне каждого подразделения. Тогда снижение общего объема потерь предприятия сводится к уменьшению потерь на уровне отдельного подразделения.

Следует отметить, что в данном случае под потерями будем понимать стоимостную оценку расхождения планового и фактического значений не-

которого показателя результативности деятельности подразделения. Примером подобной оценки может являться разность между плановым и фактическим объемами произведенной продукции.

Потери подразделения формируются, как правило, вследствие проявления различного рода негативных факторов. Процесс анализа и управления характером воздействия данных факторов на результативность функционирования подразделения принято называть риск-менеджментом [2, 4].

Процесс риск-менеджмента можно условно разделить на этапы анализа и управления риском. Содержание этапа анализа определяется необходимостью выявления источников возникновения рисков ситуации – факторов риска, рассмотрения качественных операционных характеристик рисков ситуации и получения их количественных оценок. Результатом этого этапа является построение профиля риска [7], представляющего собой ранжированный перечень факторов риска, взятых в совокупности с оценками возможности их проявления и размерами возможного ущерба. На основе профиля рассчитывается стартовый уровень риска – уровень риска без учета комплекса антирисковых мер.

Этап управления риском направлен на разработку и реализацию экономически обоснованных мер по снижению воздействия негативных факторов риска на результаты деятельности. При этом важно частично или полностью устранить в первую очередь те факторы риска, проявление которых может привести к наибольшим потерям. В условиях ограниченности имеющихся ресурсов актуальными на этом этапе являются вопросы оптимального распределения средств, выделяемых на реализацию антирисковой программы, а также оценка ее эффективности. С учетом разработанного комплекса антирисковых мер рассчитывается финальный уровень риска [7].

Содержание этапов обуславливает ряд требований к функциональным возможностям инструментария риск-менеджмента потерь подразделения. На наш взгляд, такие инструменты должны определять механизм формирования рисков ситуации, позволять получать количественные оценки различных операционных характеристик рисков ситуаций, оценивать эффективность антирисковой программы.

С позиции указанных требований к функциональным возможностям инструментария риск-менеджмента доступные в литературе модели обладают следующими недостатками. Во-первых, модели, ориентированные на анализ рисков ситуации, фактически играют роль «термометра», который позволяет оценить те или иные характеристики, например, уровень риска, объем потерь, но при этом неясным остается механизм формирования рисков ситуации. В качестве примера можно привести модели прогнозирования риска банкротства предприятия. Во-вторых, при построении моделей управления риском актуальным является вопрос выявления зависимости уровня риска от средств, выделяемых на реализацию антирисковой программы.

В ряде исследований [6, 8] проводятся аппроксимации данной зависимости посредством некоторых аналитических выражений. При этом остаются открытыми вопросы обоснования выбора конкретного вида аппроксимирующего выражения, а также определения его параметров.

В данной работе осуществляется попытка построения инструментария риск-менеджмента потерь отдельного производственного подразделения, удовлетворяющего указанным выше требованиям и лишенного выделенных недостатков.

2. Методология исследования

Пусть деятельность производственного подразделения описывается некоторым показателем X . Таким показателем, например, может быть объем выпускаемой продукции в натуральном или стоимостном выражении. Тогда под риском потерь производственного подразделения по показателю X будем понимать возможность недостижения им плановых значений данного показателя.

В качестве количественной оценки уровня риска производственного подразделения по показателю X будем понимать ожидаемое значение потерь по отношению к плановому значению X_0 показателя

$$R_X = E\left(\frac{X_0 - X}{X_0}\right), \quad (1)$$

где $E(\cdot)$ – оператор математического ожидания.

Таким образом, согласно введенному определению риска потерь производственного подразделения, его идентификация сводится к исследованию схемы формирования потерь данного подразделения.

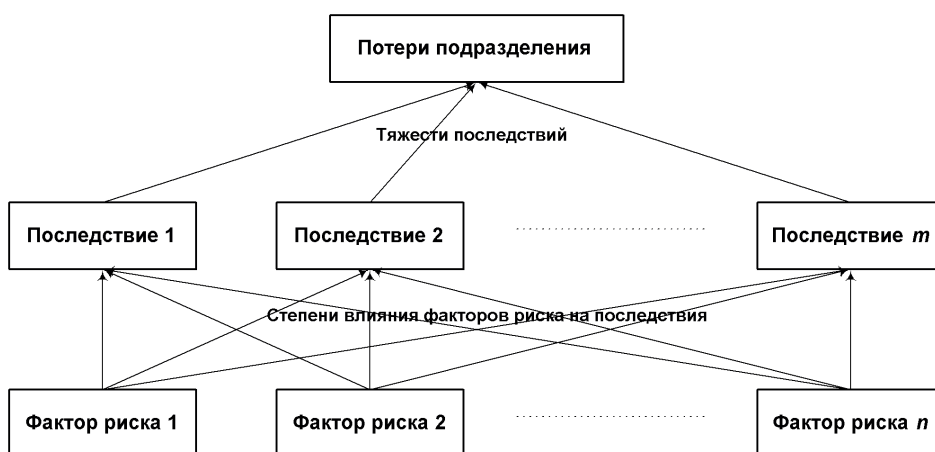


Рис. 1. Схема формирования потерь подразделения

Проявление факторов риска приводит к возникновению негативных последствий, находящихся на следующем уровне иерархии. Верхний уровень соответствует величине потерь производственного подразделения.

Далее перейдем к количественному описанию схемы формирования

потерь подразделения. Отметим, что в целях оперативного управления риском потерь количественное описание необходимо рассматривать применительно к условиям предстоящего производственного цикла.

3. Обсуждение результатов

В предстоящем производственном цикле каждый из факторов риска F_1, F_2, \dots, F_n может оказывать различное влияние на формирование тяжести $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m$ любого из последствий. Для учета данного влияния введем весовые коэффициенты w_{ij} , где $i=1, 2, \dots, n$, $j=1, 2, \dots, m$. При этом для каждого из последствий справедливо равенство $\sum_{i=1}^n w_{ij} = 1$. Для оценки значений w_{ij} предлагается использовать метод анализа иерархий или метод аналитических сетей [10]. Тяжести последствий $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m$ выражают абсолютные или относительные потери при максимальной интенсивности проявления факторов риска, приводящих к каждому из соответствующих последствий. Для их оценки, наряду с методами экспертного оценивания, может использоваться аппарат математической статистики при условии наличия репрезентативной выборки. Следует отметить, что приложение методик экспертного оценивания в задачах подобного рода, по-видимому, можно считать уместным, поскольку условия каждого производственного цикла во многом являются уникальными, особенно в мелкосерийном производстве.

Далее каждый из факторов риска проявляется с некоторым значением интенсивности $I(F_i)$. Исходя из случайного характера проявления фактора риска, интенсивность может рассматриваться как случайная величина с некоторым вероятностным распределением вида:

$$I(F_i): \begin{array}{c|cccc} l & l_1 & l_2 & \dots & l_n \\ \hline \text{Prob}(I(F_i) = l) & q_{l_1}^i & q_{l_2}^i & \dots & q_{l_n}^i \end{array}$$

Здесь l_η – значение интенсивности проявления фактора риска, $q_{l_\eta}^i$ – вероятность того, что i -ый фактор риска проявится со значением интенсивности равным l_η . Оценку значений данной случайной величины предлагается проводить по следующей вербально-числовой шкале (табл. 1), градации которой выделены в соответствии со шкалой Харрингтона [1] и равны серединам интервалов.

Таблица 1

Вербально-числовая шкала для оценки значения интенсивности проявления фактора риска

Качественная оценка значения интенсивности	Количественная оценка значения интенсивности
не проявится	0.00
очень низкая	0.10
низкая	0.29
средняя	0.50
высокая	0.72
очень высокая	0.90

Ниже будет рассмотрена вычислительная процедура для определения параметров $q_{l_\eta}^i$ закона распределения случайной величины $I(F_i)$.

Во введенных обозначениях, в соответствии со свойствами агрегированной иерархической оценки [12], формула для оценки величины ожидаемых потерь отдельного производственного подразделения в предстоящем производственном цикле запишется в виде:

$$L = \sum_{j=1}^m \frac{\Delta_j}{0.90} \sum_{i=1}^n w_{ij} \sum_{l_\eta \in I} l_\eta q_{l_\eta}^i . \quad (2)$$

Тогда, подставляя (2) в (1), получим следующую формулу для оценки уровня риска потерь подразделения:

$$R = E(L/S_0) = \sum_{j=1}^m \frac{\Delta_j}{0.90} \sum_{i=1}^n w_{ij} \sum_{l_\eta \in I} l_\eta q_{l_\eta}^i / S_0 . \quad (3)$$

Здесь $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m$ – тяжести последствий, оцененные в абсолютном выражении; S_0 – плановая стоимостная оценка выходного материально-денежного потока подразделения; $I = \{0.00, 0.10, 0.29, 0.50, 0.72, 0.90\}$ – множество значений интенсивности проявления фактора риска.

Рассмотрим подробнее составляющие формулы (3). Значения тяжести последствий Δ_j и весовые коэффициенты w_{ij} являются, как правило, достаточно статичными, так как в основном зависят от особенностей применяемой технологии. В отличие от весов вероятности $q_{l_\eta}^i$ являются более динамичными величинами и могут изменяться от одного производственного цикла к другому. Так, например, если в предстоящем производственном цикле большую часть выпускаемой продукции будет составлять недавно освоенная, то более вероятным будет проявление сопутствующих факторов риска с высокими значениями интенсивности. В последующих производственных циклах, по мере освоения технологии производства, следует ожидать снижение вероятности проявления факторов риска с высокими значениями интенсивности.

Будем предполагать, что существует зависимость вероятности $q_{l_\eta}^i$ проявления фактора риска F_i , $i = 1, 2, \dots, n$, со значением интенсивности l_η , где $l_\eta \in I$, от объема средств z , выделяемых на проведение антирисковой программы. Обозначим данную зависимость как $q_{l_\eta}^i \equiv q_{l_\eta}^i(z)$. Получим следующие формулы для оценки стартового и финального уровней риска потерь с

$$R(z) = E(L(z)/S_0) = \sum_{j=1}^m \frac{\Delta_j}{0.90} \sum_{i=1}^n w_{ij} \sum_{l_\eta \in I} l_\eta q_{l_\eta}^i(z) / S_0 . \quad (4)$$

$$R(z) = E(L(z)/S_0) = \sum_{j=1}^m \frac{\Delta_j}{0.90} \sum_{i=1}^n w_{ij} \sum_{l_\eta \in I} l_\eta q_{l_\eta}^i(z) / S_0 . \quad (5)$$

Таким образом, с содержательной точки зрения, управление риском потерь производственного подразделения заключается в проведении анти-

рисковых мер, направленных на снижение возможности проявления факторов риска с высокими значениями интенсивности. Иными словами, реализация мероприятий, направленных на снижение интенсивности проявления факторов риска, приводит к уменьшению объема потерь. С математической точки зрения, управление риском заключается в изменении параметров $q_{l_\eta}^i$ закона распределения интенсивности проявления фактора риска.

Рассмотрим далее вопрос, связанный с оценкой параметров закона распределения интенсивности проявления фактора риска.

Введем функцию $p(z) \equiv \text{Pr ob}(I(F_i) \geq l_\eta)$, определяющую вероятность того, что интенсивность проявления фактора риска F_i больше или равна значения l_η , где $l_\eta \in I$, $i = 1, 2, \dots, n$, $\eta = 0, 1, \dots, 5$. Предположим, что данная функция является дважды непрерывно дифференцируемой на всей положительной полуоси. Исследуем поведение функции $p(z)$ на всей положительной полуоси.

Естественно предположить, что привлечение дополнительных средств для реализации антирисковой программы снижает вероятность проявления фактора риска с высокими значениями интенсивности. При этом, однако, полностью устранить возможность проявления негативных причин, по-видимому, невозможно, т.е. вероятность проявления фактора никогда не будет равной нулю.

Сделанное предположение означает, что при достаточно больших затратах вероятность проявления фактора асимптотически стремится к нулю. Получим, что функция $p(z)$ убывает. Тогда имеем, что $\frac{dp}{dz} \leq 0$ для всех $z \geq 0$.

Пусть z_1 и z_2 первоначальные затраты такие, что $z_1 < z_2$. Тогда для соответствующих им значений функции $p(z)$ выполняется неравенство $p_1 = p(z_1) > p_2 = p(z_2)$. Сделаем некоторые дополнительные затраты Δz . Получим $p_1 = p(z_1 + \Delta z)$ и $p_2 = p(z_2 + \Delta z)$. Естественно предполагать, что для функции $p(z)$ выполняется закон убывающей эффективности ресурсов. Это означает, что отклик функции $p(z)$ на дополнительные затраты Δz уменьшается с ростом z . Тогда приращения функции $p(z)$ связаны неравенством $(p_1 - p_1') > (p_2 - p_2')$. Поделив обе части этого неравенства на величину дополнительных затрат Δz и умножив на -1 , получим

$$\frac{p(z_1 + \Delta z) - p(z_1)}{\Delta z} < \frac{p(z_2 + \Delta z) - p(z_2)}{\Delta z}.$$

При переходе к пределу в последнем неравенстве при $\Delta z \rightarrow 0$ получим соотношение для значений производной функции $p(z)$ в точках z_1 и z_2 , соответственно, $\frac{dp(z_1)}{dz} \leq \frac{dp(z_2)}{dz}$. Из этого неравенства и условия $\frac{dp}{dz} \leq 0$ следует, что вторая производная функции $p(z)$ неотрицательна, т.е. $\frac{d^2p}{dz^2} \geq 0$. Следовательно, на положительной полуоси функция $p(z)$ является выпуклой.

Таким образом, для любого значения $z \geq 0$ функция $p(z)$ обладает следующими свойствами:

1) $\lim_{z \rightarrow 0} p(z) = p_0, (0 < p_0 \leq 1)$ – отсутствие или недостаточное финансирование антирисковой программы не приводит к существенному изменению вероятности проявления фактора риска;

2) $\lim_{z \rightarrow \infty} p(z) = 0$ – при неограниченном финансировании антирисковой программы вероятность проявления фактора риска асимптотически стремится к 0;

3) $\frac{dp}{dz} \leq 0$ – увеличение финансирования антирисковой программы ведет к снижению вероятности проявления фактора риска;

4) $\frac{d^2p}{dz^2} \geq 0$ – увеличение финансирования антирисковой программы ведет к положительному приращению скорости снижения вероятности проявления фактора риска, но при этом размер данного приращения уменьшается.

Схематичное представление графика функции $p(z)$ представлено на рис. 2.

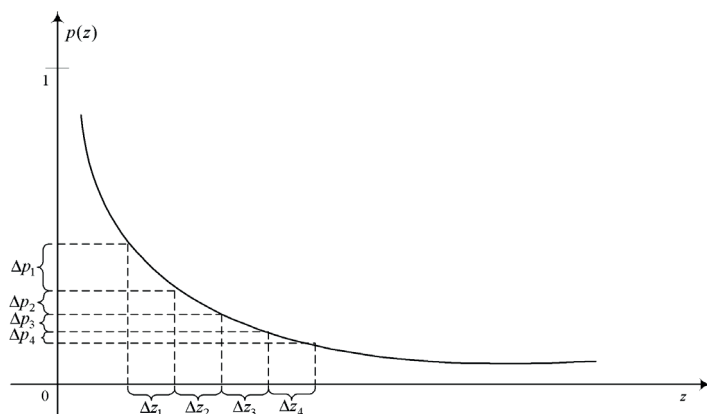


Рис. 2. Схематичное изображение графика функции $p(z)$

В соответствии с выделенными свойствами функцию $p(z)$ предлагается аппроксимировать семейством дробно-линейных функций вида

$$p_{l_\eta}^i(z) = A_{l_\eta}^i + \frac{B_{l_\eta}^i}{C_{l_\eta}^i z + 1}, \quad (6)$$

где $A_{l_\eta}^i, B_{l_\eta}^i, C_{l_\eta}^i$ – некоторые положительные коэффициенты, подлежащие определению. Следует отметить, что выбранное семейство функций не является единственным. Так, например, указанным свойствам удовлетворяет семейство экспоненциальных функций вида $A + B \exp\{-Cz\}$, где $A \geq 0, B \geq 0, C \geq 0, z \in [0; +\infty)$. Однако сравнительный анализ семейств показал, что с экономической и вычислительной точек зрения более предпочтительным для аппроксимации зависимости вероятности проявления фактора ри-

ска от величины затрат на проведение антирисковых мероприятий является использование функций дробно-линейного семейства.

Для каждого фактора риска F_i вероятность $q_{l_\eta}^i(z)$ того, что интенсивность проявления данного фактора риска будет в точности равна значению l_η , определяется через функцию $p_{l_\eta}^i(z)$ как

$$\begin{cases} q_{l_\eta}^i(z) = p_{l_\eta}^i(z) - p_{l_{\eta+1}}^i(z), & \text{если } \eta = 0, 1, \dots, 4, \\ q_{0.90}^i(z) = p_{0.90}^i(z), & \text{если } \eta = 5. \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, из (7) следует, что для каждого фактора риска F_i определение параметров распределения случайной величины $I(F_i)$ фактически сводится к нахождению коэффициентов $A_{l_\eta}^i$, $B_{l_\eta}^i$ и $C_{l_\eta}^i$.

Аксиоматика теории вероятностей накладывает следующие ограничения на значения функций $p_{l_\eta}^i(z)$ и $q_{l_\eta}^i(z)$, а также, как следствие, на значения коэффициентов $A_{l_\eta}^i$, $B_{l_\eta}^i$, $C_{l_\eta}^i$.

В предстоящем производственном цикле каждый из факторов риска F_i проявится со значением интенсивности не ниже нуля

$$p_{0.0}^i(z) = A_{0.0}^i + \frac{B_{0.0}^i}{C_{0.0}^i z + 1} \equiv 1. \quad (8)$$

При $z = 0$ получаем

$$p_{l_\eta}^i(0) = A_{l_\eta}^i + B_{l_\eta}^i \leq 1, \quad (9)$$

$$p_{0.0}^i(0) = A_{0.0}^i + B_{0.0}^i = 1. \quad (10)$$

Из равенств (8) и (10) следует, что значения коэффициентов $A_{0.0}^i$, $B_{0.0}^i$, $C_{0.0}^i$ должны удовлетворять условиям:

$$\left. \begin{aligned} p_{0.0}^i(0) &= A_{0.0}^i + B_{0.0}^i = 1 \\ p_{0.0}^i(z) &= A_{0.0}^i + \frac{B_{0.0}^i}{C_{0.0}^i z + 1} \equiv 1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_{0.0}^i + B_{0.0}^i = 1, C_{0.0}^i = 0.$$

Для любых $i = 1, 2, \dots, n$ и $z \geq 0$ на основании (7) выполняются следующие условия:

$$q_{0.00}^i(z) + q_{0.10}^i(z) + q_{0.29}^i(z) + q_{0.50}^i(z) + q_{0.72}^i(z) + q_{0.90}^i(z) = 1, \quad (11)$$

$$p_{0.00}^i(z) \geq p_{0.10}^i(z) \geq p_{0.29}^i(z) \geq p_{0.50}^i(z) \geq p_{0.72}^i(z) \geq p_{0.90}^i(z). \quad (12)$$

Запишем неравенства (12) в компактной форме

$$A_{l_\eta}^i + \frac{B_{l_\eta}^i}{C_{l_\eta}^i z + 1} \geq A_{l_{\eta+1}}^i + \frac{B_{l_{\eta+1}}^i}{C_{l_{\eta+1}}^i z + 1}. \quad (13)$$

После преобразований (13) получим следующие необходимые и достаточные условия, накладываемые на значения $A_{l_\eta}^i$, $B_{l_\eta}^i$, $C_{l_\eta}^i$, при выполнении которых данные неравенства справедливы $\forall z \in [0; +\infty)$

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i < 0, \\ \left((A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i + B_{l_{\eta+1}}^i)C_{l_{\eta}}^i + (A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i - B_{l_{\eta}}^i)C_{l_{\eta+1}}^i \right)^2 - \\ - 4(A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i + B_{l_{\eta+1}}^i - B_{l_{\eta}}^i)(A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i)C_{l_{\eta+1}}^i C_{l_{\eta}}^i \geq 0, \\ z_1 \leq 0, z_2 \leq 0. \end{array} \right. \quad (14)$$

или

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i < 0, \\ \left((A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i + B_{l_{\eta+1}}^i)C_{l_{\eta}}^i + (A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i - B_{l_{\eta}}^i)C_{l_{\eta+1}}^i \right)^2 - \\ - 4(A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i + B_{l_{\eta+1}}^i - B_{l_{\eta}}^i)(A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i)C_{l_{\eta+1}}^i C_{l_{\eta}}^i < 0. \end{array} \right. \quad (15)$$

Здесь z_1 и z_2 – корни уравнения

$$(A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i)C_{l_{\eta+1}}^i C_{l_{\eta}}^i z^2 + [B_{l_{\eta+1}}^i C_{l_{\eta}}^i - B_{l_{\eta}}^i C_{l_{\eta+1}}^i + (A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i)(C_{l_{\eta+1}}^i - C_{l_{\eta}}^i)]z + (A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_{\eta}}^i) + (B_{l_{\eta+1}}^i - B_{l_{\eta}}^i) = 0.$$

Теперь когда определен общий вид аналитической зависимости (7) вероятности $q_{l_{\eta}}^i(z)$, проявления фактора риска F_i со значением интенсивности, равным l_{η} от объема затрат z , а также найдены необходимые и достаточные условия (14) и (15), выполнение которых для коэффициентов $A_{l_{\eta}}^i$, $B_{l_{\eta}}^i$, $C_{l_{\eta}}^i$ гарантирует справедливость неравенств (13), возникает необходимость в построении вычислительной процедуры для нахождения оценок данных коэффициентов.

Для построения данной процедуры предлагается использовать следующую схему: в общем случае, если заранее известно, что для каждого значения $i = 1, 2, \dots, n$ и $l_{\eta} \in \{0.10, 0.29, 0.50, 0.72, 0.90\}$ существуют три точки $(z_j^i, p_{l_{\eta}}^i(z_j^i))$, $j = 0, 1, 2$, принадлежащие кривой (6), то, учитывая (7), они удовлетворяют соотношениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1^i \equiv A_{0.10}^i + \frac{B_{0.10}^i}{C_{0.10}^i z_j^i + 1} - (q_{0.10}^i(z_j^i) + q_{0.29}^i(z_j^i) + \dots + q_{0.90}^i(z_j^i)) = 0, \\ r_2^i \equiv A_{0.29}^i + \frac{B_{0.29}^i}{C_{0.29}^i z_j^i + 1} - (q_{0.29}^i(z_j^i) + q_{0.50}^i(z_j^i) + \dots + q_{0.90}^i(z_j^i)) = 0, \\ r_3^i \equiv A_{0.50}^i + \frac{B_{0.50}^i}{C_{0.50}^i z_j^i + 1} - (q_{0.50}^i(z_j^i) + q_{0.72}^i(z_j^i) + q_{0.90}^i(z_j^i)) = 0, \\ r_4^i \equiv A_{0.72}^i + \frac{B_{0.72}^i}{C_{0.72}^i z_j^i + 1} - (q_{0.72}^i(z_j^i) + q_{0.90}^i(z_j^i)) = 0, \\ r_5^i \equiv A_{0.90}^i + \frac{B_{0.90}^i}{C_{0.90}^i z_j^i + 1} - q_{0.90}^i(z_j^i) = 0. \end{array} \right. \quad (16)$$

Поскольку значения коэффициентов $A_{l_{\eta}}^i$, $B_{l_{\eta}}^i$, $C_{l_{\eta}}^i$ наряду с (16) также

должны удовлетворять условиям (14) или (15), то их определение сводится к решению двух оптимизационных задач вида:

$$H(A_{l_\eta}^i, B_{l_\eta}^i, C_{l_\eta}^i) = \sum_{k=1}^{15} (r_k^i)^2 \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_\eta}^i < 0, \\ A_{l_\eta}^i + B_{l_\eta}^i \leq 1, \\ A_{0.00}^i + B_{0.00}^i = 1, \quad C_{0.00}^i = 0, \\ \begin{cases} b^2 - 4ac \geq 0, \\ z_1 \leq 0, z_2 \leq 0. \end{cases} \\ A_{l_\eta}^i \geq 0, B_{l_\eta}^i \geq 0, C_{l_\eta}^i \geq 0, l_\eta \in I. \end{cases} \quad (17)$$

и

$$H(A_{l_\eta}^i, B_{l_\eta}^i, C_{l_\eta}^i) = \sum_{k=1}^{15} (r_k^i)^2 \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_\eta}^i < 0, \\ A_{l_\eta}^i + B_{l_\eta}^i \leq 1, \\ A_{0.00}^i + B_{0.00}^i = 1, \quad C_{0.00}^i = 0, \\ \begin{cases} b^2 - 4ac < 0, \\ z_1 \leq 0, z_2 \leq 0. \end{cases} \\ A_{l_\eta}^i \geq 0, B_{l_\eta}^i \geq 0, C_{l_\eta}^i \geq 0, l_\eta \in I. \end{cases} \quad (18)$$

Здесь

$$\begin{aligned} a &= (A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_\eta}^i) C_{l_\eta}^i C_{l_{\eta+1}}^i, \\ b &= (A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_\eta}^i + B_{l_{\eta+1}}^i) C_{l_\eta}^i + (A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_\eta}^i - B_{l_\eta}^i) C_{l_{\eta+1}}^i, \\ c &= A_{l_{\eta+1}}^i - A_{l_\eta}^i + B_{l_{\eta+1}}^i - B_{l_\eta}^i. \end{aligned}$$

В результате решения задач (17) и (18) получим две оптимальные точки. Обозначим их $H_{opt}^{(1)} = \alpha$ и $H_{opt}^{(2)} = \beta$. Если $\alpha < \beta$, то в качестве неизвестных значений коэффициентов $A_{l_\eta}^i, B_{l_\eta}^i, C_{l_\eta}^i$ возьмем соответствующие координаты точки, являющейся оптимальным решением задачи (17), если же $\alpha > \beta$, то координаты оптимальной точки задачи (18). Для поиска решения задач (17) и (18) реализована соответствующая вычислительная процедура на основе использования метода последовательного квадратичного программирования.

Следует заметить, что в общем случае найденные в результате решения задач (17) и (18) коэффициенты $A_{l_\eta}^i, B_{l_\eta}^i, C_{l_\eta}^i$ не обращают (16) в равенства, а удовлетворяют им с наименьшей погрешностью.

Итак, в данной части работы удалось построить аналитическое пред-

ставление зависимости вероятности проявления фактора риска от величины затрат, выделяемых на проведение антирисковых мероприятий.

Далее рассмотрим решение вопроса оптимизации расходов на проведение антирисковых мероприятий в рамках отдельного производственного подразделения.

Цель разработки антирисковой программы состоит в реализации экономически обоснованных мероприятий, направленных на снижение возможности проявления факторов риска с высокими значениями интенсивности. Следует отметить, что антирисковые меры необходимо подбирать, исходя из характера воздействия факторов риска на результаты деятельности. Так, например, если проявление фактора риска может привести к катастрофическим последствиям, то он подлежит безусловному устранению. Если же проявление фактора риска приводит к незначительным потерям, то он подлежит частичной нейтрализации, если такое возможно.

В литературе [3, 5, 9, 11] выделяется несколько критериев, используемых при оптимизации расходов на антирисковую программу. Условно их можно разделить на две группы: критерии, связанные с минимизацией уровня риска, и критерии «затраты – выгоды».

В первом случае оптимальное распределение средств соответствует минимальному или приемлемому значению функции риска. Во втором случае искомое распределение средств соответствует оптимальному соотношению стоимостной оценки затрат на антирисковую программу и полученных выгод.

По мнению авторов, при проведении антирисковой программы предпочтительным является использование критериев именно второй группы, поскольку их содержание более понятно лицу, принимающему решения.

Сформулируем следующие задачи оптимизации расходов на антирисковые мероприятия:

1) найти объем средств на проведение антирисковых мероприятий, позволяющий получить максимальный экономический эффект от этих мероприятий. При этом предполагается, что предприятие располагает достаточным объемом средств;

2) найти оптимальные пропорции распределения средств на проведение антирисковых мероприятий, позволяющие получить максимальный экономический эффект от этих мероприятий. При этом предполагается, что объем затрат на антирисковую программу фиксирован.

Следует отметить, что возможен и случай комбинирования данных задач. Сначала рассчитываются затраты на проведение антирисковых мероприятий, требующих «непрерывных» затрат (задача 1), например, покупка станка. Оставшийся объем средств распределяется оптимальным образом между факторами риска (задача 2), антирисковые мероприятия по которым не требуют «непрерывных» затрат, например, повышение заработной платы персоналу.

Рассмотрим первую из сформулированных задач.

Пусть F_1, F_2, \dots, F_n – факторы риска отдельного производственного подразделения, z_1, z_2, \dots, z_n – неизвестные объемы средств, выделяемых на проведение антирисковых мероприятий по каждому фактору риска. На основе выражений (4) и (5) и соотношений (7) введем следующую функцию

$$\begin{aligned}
 U(z_1, z_2, \dots, z_n) &= S_0[R(0, 0, \dots, 0) - R(z_1, z_2, \dots, z_n)] - (z_1 + z_2 + \dots + z_n) = \\
 &= \sum_{j=1}^m \frac{\Delta_j}{0.90} \sum_{i=1}^n w_{ij} \sum_{l_\eta \in I} l_\eta [q_{l_\eta}^i(0) - q_{l_\eta}^i(z_i)] - \sum_{i=1}^n z_i = \\
 &= \sum_{j=1}^m \frac{\Delta_j}{0.90} \sum_{i=1}^n w_{ij} \sum_{l_\eta \in I} l_\eta [(p_{l_\eta}^i(0) - p_{l_{\eta+1}}^i(0)) - (p_{l_\eta}^i(z_i) - p_{l_{\eta+1}}^i(z_i))] - \sum_{i=1}^n z_i = \\
 &= \sum_{j=1}^m \frac{\Delta_j}{0.90} \sum_{i=1}^n w_{ij} \sum_{l_\eta \in I} l_\eta \left[\frac{B_{l_\eta}^i C_{l_\eta}^i z_i}{C_{l_\eta}^i z_i + 1} - \frac{B_{l_{\eta+1}}^i C_{l_{\eta+1}}^i z_i}{C_{l_{\eta+1}}^i z_i + 1} \right] - \sum_{i=1}^n z_i. \tag{19}
 \end{aligned}$$

Данная функция определяет стоимостную оценку разницы объема предотвращаемых потерь в результате реализации антирисковой программы и затраченных средств. Если для некоторых z_1, z_2, \dots, z_n функция (19) принимает положительное значение, то соответствующая антирисковая программа считается экономически обоснованной. Далее (19) будем использовать в качестве критерия оптимизации.

Во введенных обозначениях сформулированная выше оптимизационная задача 1 запишется в виде:

$$\begin{aligned}
 U(z_1, z_2, \dots, z_n) &\rightarrow \max \\
 \{z_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \tag{20}
 \end{aligned}$$

Предположим теперь, что на проведение антирисковых мероприятий выделяется объем средств Z_0 . Необходимо найти оптимальное распределение данных средств, позволяющее получить максимальный экономический эффект от этих мероприятий. На основе функции (19) соответствующая оптимизационная модель задачи 2 запишется как:

$$\begin{aligned}
 U(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n, Z_0) &= \sum_{j=1}^m \frac{\Delta_j}{0.90} \sum_{i=1}^n w_{ij} \sum_{l_\eta \in I} l_\eta \left[\frac{B_{l_\eta}^i C_{l_\eta}^i \gamma_i Z_0}{C_{l_\eta}^i \gamma_i Z_0 + 1} - \frac{B_{l_{\eta+1}}^i C_{l_{\eta+1}}^i \gamma_i Z_0}{C_{l_{\eta+1}}^i \gamma_i Z_0 + 1} \right] - \\
 &- Z_0 \rightarrow \max \\
 \begin{cases} \gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n = 1, \\ \gamma_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \tag{21}
 \end{aligned}$$

Здесь $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – подлежащие определению параметры распределения объема средств Z_0 , выделяемых на нейтрализацию факторов риска.

Построенные оптимизационные модели (20) и (21) относятся к классу задач нелинейного программирования. Для поиска их решения могут быть

использованы соответствующие методы нелинейной оптимизации. В частности, в среде компьютерной математики Maple 12 разработана вычислительная процедура для поиска решения задач (20) и (21).

Таким образом, построены оптимизационные модели (20) и (21), предназначенные для определения параметров эффективного, в смысле критерия (19), распределения средств на проведение антирисковых мероприятий.

4. Заключение

Основным результатом работы является построение математического инструментария риск-менеджмента потерь отдельного производственного подразделения. Предложенная модель формирования потерь подразделения позволяет раскрыть механизм формирования соответствующей рискованной ситуации, а также идентифицировать конкретные факторы риска и оценить их количественные характеристики. Полученная аппроксимация зависимости вероятности проявления фактора риска от объема затрат на антирисковые меры позволила построить расчетные выражения для оценки стартового и финального уровней риска потерь подразделения. В статье также рассмотрена задача оптимизации расходов на антирисковые меры при разных схемах финансирования.

Развитие исследования непосредственно связано с обобщением полученных результатов на случай полной производственно-технологической структуры предприятия.

Список источников

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. 2-е перераб. и доп. изд. Москва, Наука, 1976.
2. Бараненко С.П., Шеметов В.В. Риски и управление ими в системе управления предприятием // *Управление риском*, 2004, no. 2, с. 32-35.
3. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. *Общая теория рисков*. Москва, Академия, 2007.
4. Грачева М.В., Секерин А.Б. *Риск-менеджмент инвестиционного проекта*. Москва, ЮНИТИ-ДАНА, 2009.
5. Денисенко В.И., Дьяченко А.П. Системное моделирование рисков промышленных предприятий // *Управление риском*, 2009, Вып. 49, no. 1, с. 33-37.
6. Золотова Т.В. Задачи оценки и управления риском техногенных воздействий при планировании производственной деятельности // *Управление риском*, 2008, Вып. 48, no. 4, с. 2-13.
7. Качалов Р.М. *Управление хозяйственным риском*. Москва, Наука, 2002.
8. Немиткина В.В. Применение методов оптимизации при анализе и управлении информационными рисками // *Экономика и математические методы*, 2008, Т. 44, no. 2, с. 100-107.
9. Неретина Е.А., Можанова И.И. Организация интегрированного риск-менеджмента на промышленном предприятии // *Управление риском*, 2008, Вып. 48, no. 4, с. 55-62.
10. Саати Т.Л. *Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети*. Москва, ЛКИ, 2008.
11. Секерин А.Б., Строев С.П. Оптимизационная модель управления риском на уровне производственного звена промышленного предприятия // *Наука и образование. «Экономика и управление»*, 2006, no. 1, с. 123-132.
12. Zimmermann H.J., Zysno P. Decisions and evaluations by hierarchical aggregation of information // *Fuzzy sets and Systems*, 1983, vol. 10, pp. 243-260.

RISK-MANAGEMENT MODELS LOSSES AT THE LEVEL OF A SEPARATE DIVISION OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

Stroev Sergey Pavlovich¹, Cand. Sc. (Econ.)

Tinyakova Viktoriya Ivanovna², Dr. Sc. (Econ.)

Russkih Tatyana Nikolaevna¹, Cand. Sc. (Econ.)

¹ Oryol State University named after I.S. Turgenev, Komsomolskaya st., 95, Oryol, Russia, 302026; e-mail: stroewsp@mail.ru

² K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University), Zemlyanoy Val, 73, Moscow, Russian, 109004; e-mail: tviktor@yandex.ru

Purpose: to describe the development of mathematical tools for risk management designed to conduct quantity analysis of risk of losses in a separate business unit. *Discussion:* the conceptual basis for the tools is an assumption that there is a dependency between the risk level and the amount of funds allocated for anti-risk activities. The paper provides rationale for the use of a family of linear-fractional functions to approximate this dependence. *Results:* based on the analytical representation of this dependency drawn up in the paper, the author obtains expressions for quantity analysis of the original and final levels of risk of losses in a business unit as well as develops models that optimize expenses on anti-risk activities.

Keywords: risk of losses of a business unit, optimization of expenses on an anti-risk program.

References

1. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskij Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij*. 2-e pererab. i dop. izd. [Planning an experiment in the search for optimal conditions]. Moscow: Nauka, 1976. (In Russ.)
2. Baranenko S.P., Shemetov V.V. Riski i upravlenie imi v sisteme upravleniya predpriyatim [Risks and their management in the enterprise management system]. *Upravlenie riskom*, 2004, no. 2, pp. 32-35. (In Russ.)
3. Vishnyakov Ya.D., Radaev N.N. *Obshchaya teoriya riskov* [General risk theory]. Moscow, Akademiya, 2007. (In Russ.)
4. Gracheva M.V., Sekerin A.B. *Risk-menedzhment investicionnogo proekta* [Risk management of an investment project]. Moscow, YUNITI-DANA, 2009. (In Russ.)
5. Denisenko V.I., D'yachenko A.P. Sistemnoe modelirovanie riskov promyshlennykh predpriyatij [Systemic risk modeling of industrial enterprises]. *Upravlenie riskom*, 2009, vol. 49, no. 1, pp. 33-37. (In Russ.)
6. Zolotova T.V. Zadachi ocenki i upravleniya riskom tekhnogennykh vozdeystvij pri planirovanii proizvodstvennoj deyatel'nosti [The tasks of risk assessment and risk management of technological impacts in the planning of production activities]. *Upravlenie riskom*, 2008, vol. 48, no. 4, pp. 2-13. (In Russ.)
7. Kachalov R.M. *Upravlenie hozyajstvennym riskom* [Economic risk manage-

ment]. Moscow, Nauka, 2002. (In Russ.)

8. Nemitkina V.V. Primenenie metodov optimizatsii pri analize i upravlenii informatsionnymi riskami [The use of optimization methods in the analysis and management of information risks]. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 2008, vol. 44, no. 2, pp. 100-107. (In Russ.)

9. Neretina E.A., Mozhanova I.I. Organizatsiya integrirovannogo risk-menedzhmenta na promyshlennom predpriyatii [Organization of integrated risk management at an industrial enterprise]. *Upravlenie riskom*, 2008, vol. 48, no. 4, pp. 55-62. (In Russ.)

10. Saati T.L. *Prinyatie reshenij pri zavisimostyah i obratnyh svyazyah: anali-*

ticheskie seti [Decision making with dependencies and feedbacks: Analytical networks]. Moscow, LKI, 2008. (In Russ.)

11. Sekerin A.B., Stroevev S.P. Optimizatsionnaya model' upravleniya riskom na urovne proizvodstvennogo zvena promyshlennogo predpriyatiya [An optimization model of risk management at the level of the production link of an industrial enterprise]. *Nauka i obrazovanie. «Ekonomika i upravlenie»*, 2006, no. 1, pp. 123-132. (In Russ.)

12. Zimmermann H.J., Zysno P. Decisions and evaluations by hierarchical aggregation of information. *Fuzzy sets and Systems*, 1983, vol. 10, pp. 243-260.