

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ МНОГОЭТАПНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Е.П. Ростова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34
E-mail: el_rostova@mail.ru

Ключевые слова: управление рисками, промышленные риски, предприятие, зависимые события, взаимосвязанные риски, производственный процесс.

Аннотация: Рассмотрена задача управления рисками производственного процесса. Процесс рассмотрен как многоэтапный. Этапы могут реализовываться последовательно и/или параллельно. Каждый этап характеризуется риском нарушения производственного процесса, который может быть а) взаимосвязан с рисками других этапов и б) может быть не взаимосвязан. В статье рассмотрен ожидаемый ущерб для двух вариантов взаимного влияния рисков одного этапа на риски других этапов производственного процесса. Сформулирована задача оптимального управления ресурсами, предназначенными на мероприятия по снижению риска производственного процесса по критерию минимизации совокупных расходов.

1. Введение

Любая организация сталкивается с нештатными событиями, которые оказывают взаимное влияние друг на друга - на вероятность возникновения и на уровень ущерба. В теории вероятностей такие события называют зависимыми и определяют как события, «появление одного из которых изменяет вероятность появления другого» [1]. В научной литературе встречается термин единого рискованного потока [2] и цепочки поставок (supply chain) [3]. В производственных процессах отдельные этапы взаимосвязаны между собой технологическими картами, технологическими цепочками производства и т.д.

С помощью потоковых диаграмм и бизнес-процессов в различных нотациях, а также с использованием дерева решений и сетевых графиков можно проанализировать производственные риски и выявить этапы, подверженные наибольшему влиянию риск-факторов.

Выявление наиболее рискованного этапа производственного процесса, а также выявление инструментов управления рисками, оказывающими взаимное влияние друг на друга позволит оказывать управляющее воздействие на параметры совокупного риска всего производственного процесса.

Воздействие на уровень риска предприятия осуществляется путем проведения мероприятий, направленных на снижение вероятности наступления неблагоприятного события и/или снижения ущерба. Это может быть установка более надежного оборудования, систем контроля и мониторинга в режиме реального времени, систем оповещения, проведение курсов повышения квалификации персонала.

В статье рассмотрена задача оптимального распределения ресурсов на мероприятия, направленные на снижение риска производственного процесса по критерию минимизации общих расходов для ситуации взаимосвязанных и

независимых рисков. Различные этапы и их риски оказывают разное влияние на весь производственный процесс и его совокупный риск. Распределение ресурсов на снижение риска должно осуществляться таким образом, чтобы воздействие на риск отдельного этапа привело к наибольшему снижению риска всего процесса при учете экономической эффективности затрат на предупредительные мероприятия

2. Постановка задачи

Рассмотрим задачу оценки риска производственного процесса. Пусть производственный процесс состоит из n этапов. Каждый из этапов подвержен ряду внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на сроки и порядок выполнения работ данного этапа.

Взаимосвязанными производственными рисками будем называть риски, соответствующие различным этапам производственного процесса, для которых изменение вероятности реализации одного риска оказывает влияние на вероятность реализации другого риска. Соответственно, независимыми рисками будем называть риски, соответствующие различным этапам производственного процесса, для которых изменение вероятности реализации одного риска не оказывает влияние на вероятность реализации другого риска.

Введем обозначения: A_i – событие состоящее в нарушении i -го этапа производственного процесса, p_i – вероятность события A_i , X_i – ущерб от нарушения i -го этапа производственного процесса. Если i -ый и j -ый этапы характеризуются независимыми рисками при совместных событиях, тогда вероятность того, что будут нарушены оба этапа $p_{ij}=p_i p_j$. Аналогично для k независимых рисков при совместных событиях A_1, \dots, A_k вероятность $p_k = \prod_{i=1}^k p_i$. Если риски взаимосвязаны, тогда вероятность реализации произведения событий $A_1 \dots A_k$ будет равна

$$P(A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_k) = P(A_1)P(A_2/A_1)P(A_3/A_1A_2) \cdot \dots \cdot P(A_k/A_1A_2 \dots A_{k-1}).$$

Ожидаемый ущерб от нарушения i -го этапа производственного процесса $M(X_i)=X_i p_i$. Тогда для независимых рисков i -ого и j -ого этапов ожидаемый ущерб составит сумму $M(X_i + X_j) = X_i p_i + X_j p_j$. Аналогично для k независимых рисков

$$(1) \quad M(\sum_{i=1}^k X_i) = \sum_{i=1}^k X_i p_i.$$

Для взаимосвязанных рисков возможны два варианта оценки ожидаемого ущерба: ущерб оценивается отдельно для каждого события A_i отдельно или ущерб оценивается по итоговому событию как накопленный эффект с учетом ущербов от нарушения промежуточных этапов. В первом случае ожидаемый ущерб составит $M(X_i + X_j) = X_i p_i + X_j p(A_j/A_i)$ или для k рисков

$$(2) \quad M(\sum_{i=1}^k X_i) = X_1 P(A_1) + X_2 P(A_2/A_1)P(A_1) + X_3 P(A_3/A_1A_2)P(A_2/A_1)P(A_1) + \dots + X_k P(A_k/A_1A_2 \dots A_{k-1})P(A_1) \cdot \dots \cdot P(A_{k-1}/A_1 \dots A_{k-2}).$$

Во втором случае ожидаемый ущерб будет определяться по формуле

$$(3) \quad M(\sum_{i=1}^k X_i) = X_k P(A_1) \cdot P(A_2/A_1) \cdot \dots \cdot P(A_{k-1}/A_1 \dots A_{k-2})P(A_k/A_1A_2 \dots A_{k-1}).$$

Последний вариант характерен для исследования рисков и оценки ущерба с помощью дерева решений.

Воздействие на риск требует затрат ресурсов. С помощью различных мероприятий по снижению риска можно воздействовать на вероятность реализации рисков события или на ущерб от этого события. В случае независимых рисков мероприятия по снижению риска события A_i не отразятся на характеристиках риска события A_j ($i \neq j$). Для взаимосвязанных рисков воздействие на риск одного из этапов

производственного процесса отразится на характеристиках риска всего процесса. В условиях ограниченных ресурсов возникает задача выбора наиболее эффективных мероприятий, оказывающих влияние на снижение риска.

Пусть f_i – ресурсы, направленные на мероприятия по снижению риска (вероятности и/или ущерба) i -го этапа производственного процесса, $f=(f_1, f_2, \dots, f_n)$ – вектор управляющих воздействий, определяющий совокупность ресурсов, направленных на снижение риска производственного процесса.

Ресурсы, направленные на снижение риска i -го этапа производственного процесса отражаются на вероятности $p_i=p_i(f_i)$ и/или на ущербе $X_i=X_i(f_i)$, при этом увеличение затрат на мероприятия приводит к снижению вероятности события и/или ущерба от события или сохранению их на прежнем уровне [4]

$$\frac{dp_i}{df_i} \leq 0, \frac{dX_i}{df_i} \leq 0.$$

Поскольку каждый отдельный этап производственного процесса имеет специфические характеристики, отражающиеся на функциях $p_i=p_i(f_i)$ и $X_i=X_i(f_i)$, ограничимся общей записью без детализации вида функции.

Тогда задача определения управляющего воздействия по критерию минимизации общих расходов будет иметь вид:

$$\begin{aligned} f^* &= \operatorname{argmin}_{f \in A_f} C(p, X, f), \\ A_f &= \{f_i \in R^+\}, \\ (4) \quad C &= M(\sum_{i=1}^n X_i) + \sum_{i=1}^n f_i, \\ \sum_{i=1}^n f_i &\leq f^{\max}, \\ X_i &= X_i(f_i), \\ p_i &= p_i(f_i), \end{aligned}$$

здесь символом «*» обозначены оптимальные значения. Ожидаемый ущерб определяется по формулам (1)-(3) в зависимости от характеристик рассматриваемого производственного процесса и его этапов.

Описанная выше задача оптимального управления ресурсами на мероприятия по управлению рисками многоэтапного производственного процесса позволяет минимизировать расходы, представленные как сумма ожидаемого ущерба и затрат на снижение вероятности непредвиденного события и/или ущерба от данного события. Основная задача состоит в выявлении этапов, воздействие на риск которых приведет к наибольшему снижению общего риска всего производственного процесса в совокупности с учетом экономической эффективности затрат на предупредительные мероприятия.

Список литературы

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учебник для вузов. 6-е изд. стер. М.: Высш. шк., 1999. 576 с.
2. Афоничкин А.И., Дуплякин В.М., Афоничкина Е.А., Мошкова Т.А., Сыропятова С.Б. Моделирование и анализ рисков развития экономических систем. Самара: Самарский научный центр РАН, 2017. 236 с.
3. Gurtu A., Johny J. Supply chain risk management: Literature review // Risks. 2021. Vol. 9, No. 1. P 16.
4. Geraskin M.I., Rostova E.P. Models of Industrial Risk Control Systems // Advances in Systems Science and Applications. 2022. Vol. 22, No. 3. P. 139-156.