

Д.А. Масленников, Л.Ю. Катаева

МОДЕЛЬ ДВУХУРОВНЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Катастрофические события в природных и техногенных системах приводят не только к существенным убыткам и жертвам, но и экологическим последствиям, часто недооцениваемым. Несмотря на то, что существует множество работ в области управления рисками и мотивации персонала, задача оптимального поведения работников, обеспечивающих безопасность, при различных параметрах стимулирования организацией недостаточно исследована. Проблема управления рисками является одной из ключевых задач обеспечения безопасности. В данной работе предложена математическая модель двухуровневого управления, в которой организация заинтересована в минимизации риска катастрофы и расходов на обеспечение безопасности и определяет критерии эффективности работы исполнителя, в то время как исполнитель стремится минимизировать свои затраты на выполнение работ и риск ответственности за катастрофу. Показано влияние разницы между возможным ущербом от катастрофы и мерой ответственности на дисбаланс между мерами разного уровня. Предложенная система двухуровневого управления может стать основой для разработки более сложных систем поощрения сотрудников в области обеспечения безопасности критических систем, имеющих риски, связанные с экологической безопасностью не только страны, но и мира в целом.

Ключевые слова: двухуровневая оптимизация, экологическая безопасность, управление рисками, ключевые показатели эффективности, менеджмент.

Введение. Проблема управления рисками в сложных системах является актуальной, ей посвящено большое количество работ. В работе [1] автором рассматривается модель оценки рисков, основанная на грубой трехуровневой градации вероятности негативных событий, тяжести последствий и возможности смягчить последствия. Аналогичная методология предлагается в источниках [2,3]. Ее применение целесообразно в случае отсутствия возможности более точной оценки. Использование аппарата нечеткой логики [5] позволяет повысить точность прогнозирования за счет отсутствия у экспертов необходимости округлять свои оценки до градации. Тем не менее, данное улучшение не снимает недостатков качественной оценки рисков.

Повышение эффективности оценки рисков осуществимо при помощи байесовской сети доверия. Ее построение требует выявления вероятностных характеристик взаимосвязи между событиями, имеющими отношение к анализируемому риску. Данный подход затруднительно использовать для прогнозирования масштабных катастроф ввиду малого объема статистических данных по ним. Количественному анализу рисков на основе диаграммы активностей посвящена работа [4]. Авторы акцентируют внимание на рисках, связанных с задержками выполнения подзадач и их влияния на следующие этапы выполнения проекта. В работе не учитываются критические риски, которые могут привести к полному провалу проекта или катастрофическим последствиям.

Принятие разумных решений персоналом в большой степени зависит от эффективности системы стимулирования. Так, в работе [7] исследована зависимость склонности управленцев к риску в зависимости от схемы их поощрения. В случае, если большая часть оплаты труда приходится на фиксированные выплаты, повышается вероятность найма менеджера, избегающего риска, что повышает устойчивость развития компании, но может приводить к упущению возможностей для развития. Построение индикаторов для мотивации руководителей, обеспечивающих согласование их интересов с целями собственника, рассмотрено в работе [8].

Обеспечение безопасности путем мотивации персонала посредством ключевых показателей эффективности (КПИ) является актуальной задачей, которой посвящено множество работ [9-13]. В работе [9] предложена математическая модель поведения человека во время аварийных ситуаций. Оценивается вероятность ошибок в стрессовых и критических условиях и предлагается инновационная модель КПИ для мониторинга человеческого фактора на предприятии. Обобщенная система индикаторов КПИ в области безопасности предложена в работе [10]. Таким образом, мотивация персонала связана с факторами, провал по каждому из которых по отдельности не приводит к аварии, но их комбинация имеет критические последствия.

Построение системы мотивации лиц, осуществляющих действия по снижению рисков, сопряжено с дисбалансом интересов исполнителей и компании. В случае наступления катастрофических событий мера ответственности исполнителей может быть несопоставимой с последствиями, что может приводить к недооценке риска таких событий ввиду их малой вероятности. В качестве примеров таких событий можно рассмотреть аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима-1. Типичной проблемой управления, связанной с такими масштабными катастрофами, является их малая вероятность возникновения, приводящая к недооценке исполнителями степени угрозы.

Одним из возможных решений данной проблемы является введение ответственности за сбои, которые не привели к аварийным ситуациям, но могли привести при сопутствующих условиях. Эффективное применение

такого подхода требует прогнозирования действий исполнителей в зависимости от мер их стимулирования. В данной работе рассматривается модельная задача метаоптимизации.

Методы. Рассматривается двухуровневая система из организации и исполнителя. Для упрощения модели не рассматривается многоуровневая структура управления и наличие множества исполнителей, имеющих различные зоны ответственности. В системе могут происходить негативные события двух уровней: сбой и авария, для предотвращения которых исполнитель может предпринимать защитные меры двух уровней соответственно. Сбой не приносит убытков, но, с одной стороны, может стать причиной аварии, а с другой – указать на возможную недостаточность защитных мер, предпринятых исполнителем. Вероятность сбоя зависит от предпринимаемых защитных мер первого уровня. В случае возникновения сбоя, вероятность того, что он приведет к аварии, зависит от мер второго уровня, которые находятся под опосредованным контролем организации, подразумевающий определение мер стимулирования исполнителя. В идеальном случае, если ущерб равен ответственности, интересы организации и исполнителя могут быть полностью согласованы, тем не менее, как правило, ответственность исполнителя за аварию меньше, чем ущерб от нее.

Организация заинтересована в минимизации риска аварии и расходов на превентивные меры и мотивацию исполнителя за бессбойную работу системы. Основным рычагом управления, имеющийся у организации – определение величины премии за отсутствие сбоев. В зависимости от того, насколько исполнитель мотивирован на бессбойную работу, им определяется объем прилагаемых усилий, что в результате влияет на вероятность аварии. Система характеризуется следующими параметрами, не зависящими от действий организации и исполнителя: V – базовая интенсивность потока отказов в условиях отсутствия мер безопасности; U – ущерб от аварии; R_j – коэффициент расходов на превентивные меры; T_j – коэффициент трудоемкости превентивных мер; E_j – эффективность превентивных мер где j – номер уровня (1 – сбой, 2 – авария); O_2 – ответственность за аварию, которая не может превышать ущерб от аварии.

Организация принимает решение об объеме премии O_1 , которая выплачивается исполнителю за отсутствие сбоев. Исполнитель принимает решение о неотрицательном объеме прикладываемых усилий Z_j на каждом из уровней обеспечения безопасности в зависимости от величины премии O_1 .

Интенсивность потока сбоев определяется базовой интенсивностью потока отказов и эффективностью защитных мер первого уровня. Если произошел сбой, вероятность того, что он приведет к аварии, зависит от эффективности мер второго уровня. Для упрощения модели пренебрежем возможностью более одного отказа или аварии в течение периода. Таким образом, вероятности сбоев и аварий определяются соотношениями:

$$P_1 = B(1 + Z_1)^{-E_1}, \quad P_2 = P_1(1 + Z_2)^{-E_2} \quad (1)$$

Целевая функция для исполнителя определяется минимизацией его трудозатрат, максимизацией возможности получения премии и минимизацией риска ответственности за аварию. Предполагается, что исполнитель рационально воспринимает риск ответственности:

$$G_i(Z_1, Z_2) = Z_1 T_1 + Z_2 T_2 - (1 - P_1) O_1 + P_2 O_2 \rightarrow \min \quad (2)$$

В результате решения этой задачи оптимальный, с точки зрения исполнителя, объем защитных мер будет определяться $Z_{1,opti}, Z_{2,opti}$, где «opti», добавленное к индексу, означает оптимальность с точки зрения исполнителя.

Целевая функция для организации включает в себя расходы на превентивные меры, риск аварии и премию

$$G_o(O_1) = Z_{1,opti} R_1 + Z_{2,opti} R_2 + (1 - P_{1,opti}) O_1 + P_{2,opti} U \rightarrow \min, \quad (3)$$

где оптимальные затраты исполнителя определяются решением задачи (2) и представлены в виде:

$$(Z_{1,opti}, Z_{2,opti}) = \underset{(Z_1, Z_2)}{\operatorname{argmin}} G_i(Z_1, Z_2) \quad (4)$$

Целевая функция в идеальном случае соответствует сценарию, когда у организации есть полный контроль объема прилагаемых усилий. В этом случае задача оптимизации становится одноуровневой и имеет вид:

$$G_{o,i}(Z_1, Z_2) = Z_1 R_1 + Z_2 R_2 + P_2 U \rightarrow \min \quad (5)$$

Постановка сводится к двум вложенным задачам оптимизации (2)-(4). В общем случае решение задачи (2) аналитическими методами весьма затруднительно, поэтому используется численный поиск минимума. Недостатком данного подхода является вычислительная сложность, связанная с необходимостью решения задачи минимизации (2) для каждого вычисления минимизируемой функции (3). Для эффективного численного решения задачи оптимизации целесообразно исследовать минимизируемую функцию на выпуклость. В результате подстановки (1) в (2) получим:

$$G_i(Z_1, Z_2) = Z_1 T_1 + Z_2 T_2 - (1 - B(1 + Z_1)^{-E_1}) O_1 + B(1 + Z_1)^{-E_1} (1 + Z_2)^{-E_2} O_2$$

Выпуклость данной функции была установлена путем определения знака детерминанта и главных миноров гессиана функции. Ввиду положительности знака, функция имеет один локальный минимум. Определение свойств выпуклости целевой функции организации (3) требует решения задачи оптимизации нижнего уровня (4), что весьма затруднительно. В связи с этим, для решения задачи (3) было выполнено вычисление значений целевой функции на сетке значений по переменной O_1 .

Альтернативным способом решения двухуровневой задачи оптимизации является сведение ее к одноуровневой за счет введения условий Каруша – Куна – Таккера [15]. Постановка задачи минимизации примет вид:

$$\min_{Z_1, Z_2, O_1 \geq 0} G(Z_1, Z_2, O_1) = Z_1 R_1 + Z_2 R_2 + (1 - P_1) O_1 + P_2 U,$$

с учетом

$$Z_1, Z_2, O_1 \geq 0,$$

$$\frac{\partial L}{\partial Z_1} = 0, \frac{\partial L}{\partial Z_2} = 0,$$

$$\lambda_1 Z_1 = 0, \lambda_2 Z_2 = 0,$$

$$\lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0,$$

$$\text{где } L(Z_1, Z_2, O_1, \lambda_1, \lambda_2) = Z_1 T_1 + Z_2 T_2 - (1 - P_1) O_1 + P_2 O_2 + \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2.$$

Основной сложностью решения задачи в такой формулировке является необходимость минимизации одной функции при наличии условий на другие, что требует модификации метода градиентного спуска, так как изменение переменной верхнего уровня оказывает как прямое влияние на целевую функцию, так и опосредованное – через переменные нижнего уровня.

Для определения дисбаланса между предпринимаемыми исполнителем мерами первого и второго уровня, проанализируем случай $R_j=1$, $T_j=1$, что соответствует одинаковой трудоемкости и расходам на единицу мер каждого уровня. С точки зрения исполнителя, затраты на единицу защитных мер каждого уровня одинаковы, поэтому коэффициент предельного дисбаланса определим как отношение предельной эффективности мер второго уровня к мерам первого уровня, что приводит к соотношению:

$$D = \frac{\partial}{\partial Z_2} (B(1 + Z_1)^{-E_1} (1 + Z_2)^{-E_2} U) \Big/ \frac{\partial}{\partial Z_1} (B(1 + Z_1)^{-E_1} (1 + Z_2)^{-E_2} U). \quad (6)$$

Путем несложных алгебраических преобразований (6) получим выражение:

$$D = (E_2(1 + Z_1)) / (E_1(1 + Z_2)). \quad (7)$$

На основе вышеописанной постановки (2)–(4) была выполнена серия расчетов при следующих значениях параметров: $B=1$, $R_j=1$, $T_j=1$, $O_2=1000$, $E=E_j=1, 1.5, 2, 2.5, 3$, $U=[10^3, 10^6]$, результаты которых представлены ниже.

Результаты. На рис. 1-5 представлены результаты расчетов, раскрывающие зависимость различных величин от ущерба от аварии при различных значениях эффективности принимаемых мер.

На рис. 1 показано влияние ущерба от аварии на оптимальное значение ответственности за сбой. При сравнительно малом ущербе ответственность за сбой вводить не требуется, однако по мере роста возможных последствий аварии, следует контролировать сбой. В случае большей эффективности усилий, уровень ответственности может быть меньше.

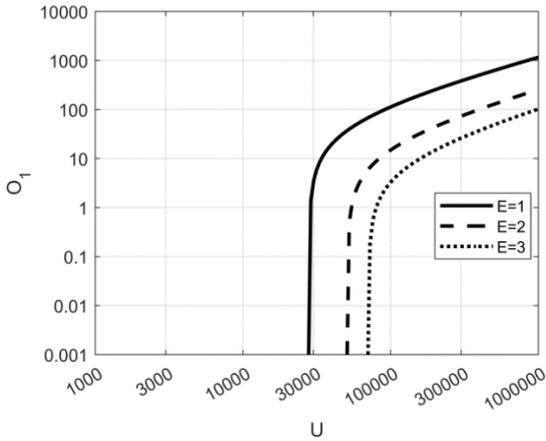


Рис. 1. Оптимальный уровень ответственности за сбой

На рис. 2 приведена зависимость вероятности аварии от возможного ущерба. По мере роста ущерба на начальном этапе не происходит снижения вероятности аварии, так как ответственность за сбой не вводится, а за аварию – остается константой.

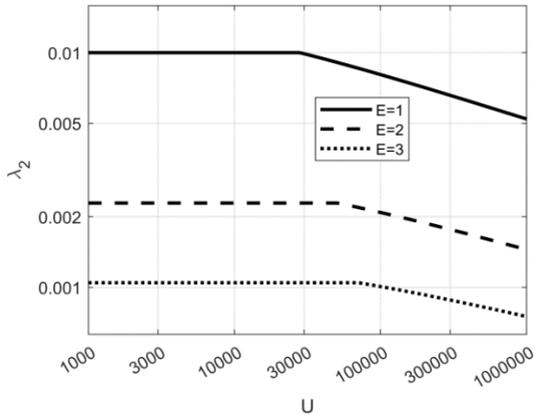


Рис. 2. Вероятность аварии

На рис. 3 представлен предельный дисбаланс между эффективностью мер первого и второго уровня. По мере повышения эффективности мер уменьшается сам дисбаланс. Причиной дисбаланса является наличие ответственности за сбой, которая мотивирует исполнителя увеличивать объем мер первого уровня, даже если они менее эффективны, чем меры второго уровня для минимизации риска аварии.

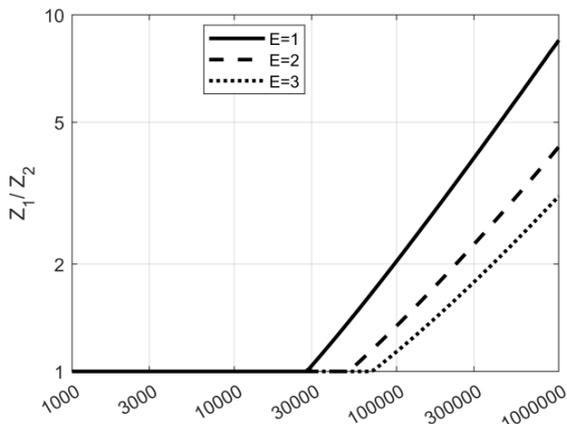


Рис. 3. Дисбаланс между мерами различных уровней

На рис. 4 показана зависимость целевой функции организации от ущерба от аварии. Целевая функция растет по мере увеличения возможного ущерба от аварии и уменьшается, если действия по уменьшению риска более эффективны.

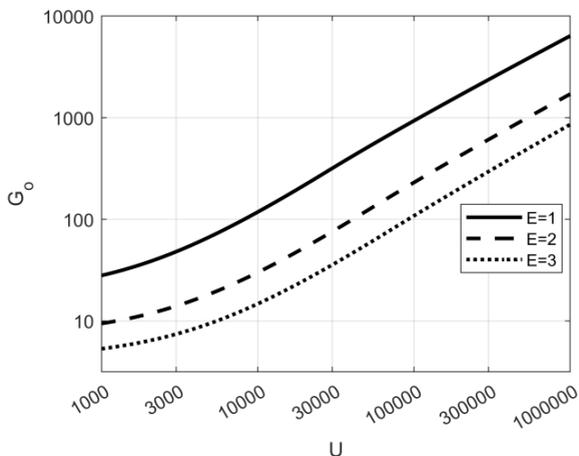


Рис. 4. Целевая функция организации

На рис. 5 изображена эффективность управления как отношение целевой функции самой организации в идеальных условиях и с учетом действий исполнителя. Как видно из результатов, эффективность убывает по мере того, как растет отношение ущерба от аварии и максимальной ответственности за нее.

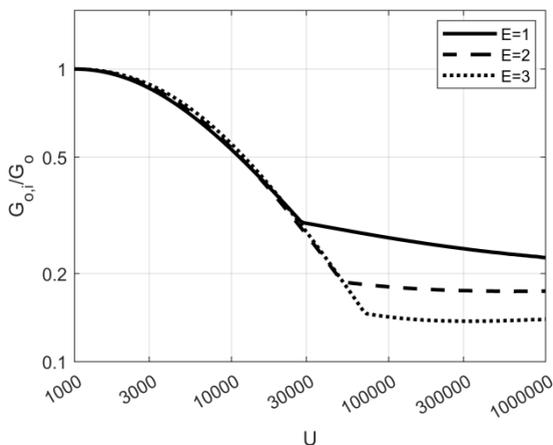


Рис. 5. Влияние исполнителя на эффективность управления с учетом степени возможного ущерба от аварии

Приведенные выше результаты наглядно показывают, что при наличии двухуровневой системы управления исполнитель может недооценивать риски, что можно компенсировать стимулированием бессбойной работы лишь частично.

Анализ. Как показали результаты расчетов, если ущерб от аварии превосходит максимально возможную ответственность исполнителей, имеет место снижение эффективности. При принятии решений исполнитель оценивает риски, исходя из меры ответственности, а не последствий от аварии. Это приводит к большому негативному эффекту, если безопасность в существенной степени зависит от действий, эффективность которых трудно контролировать. Если авария приводит к катастрофическим последствиям, целесообразно вводить меры контроля инцидентов, даже если они не приводят к ущербу, но при наличии сопутствующих обстоятельств могут привести к авариям. Такие меры стимулируют минимизировать риск сбоев в большей степени, чем риск аварии, что позволяет сгладить проблему безответственности. Однако это может приводить к увеличению дисбаланса между эффективностью мер различных уровней.

В случае возможности возникновения катастрофических событий, ущерб которых на несколько порядков превышает меру ответственности, возникает необходимость введения поощрений за отсутствие сбоев, превышающих ответственность за аварию. Такой дисбаланс приводит к пренебрежению исполнителем мер второго уровня. Организация может решить данную проблему только путем разумного управления мерами второго уровня и их объемом. На практике это означает необходимость принятия решений о требуемых мерах на уровне организации, а не исполнителя.

Другой способ сглаживания негативных эффектов состоит в создании многоуровневой структуры управления безопасностью и повышения информированности руководителей различных уровней о рациональных мерах безопасности. Чем выше уровень руководителя, тем больше у него область ответственности и, как следствие, вероятность возникновения в ней аварийных ситуаций, что уменьшает недооценку рисков.

Наличие высокоэффективных мер снижения рисков сбоев и аварий, с одной стороны, благоприятно сказывается на безопасности, но при наличии недооценки рисков потенциал применения таких мер снижается.

Заключение. В данной работе исследуется принятие решений организацией и исполнителем для обеспечения безопасности системы, определяемой приложенными исполнителем усилиями. Действия исполнителя зависят от системы мотивации. Основной сложностью ее построения является возможность аварий с ущербом, существенно превышающим ответственность исполнителя, которые могут быть недооценены. В этих условиях организация вводит систему поощрения для исполнителя, основанную на сбоях, не приводящих к ущербу, но могущих повлечь более тяжелые последствия. Это в некоторой мере позволяет сгладить недооценку ответственности.

Значимость полученных результатов состоит в том, что предложенная модель позволяет оптимизировать меры поощрения в области обеспечения безопасности. Основная сложность применения данного подхода на практике заключается в измерении эффективности приложенных усилий. Такое измерение может осуществляться на основе данных о негативных событиях, в то время как наиболее катастрофические из них случаются редко, не позволяя обеспечить статистическую значимость. В качестве альтернативного метода оценки вероятности является моделирование системы и возможных результата комбинации возможных событий в ней.

Предложенная постановка не учитывает эффекта увеличения математического ожидания вознаграждения исполнителя за счет увеличения ответственности за сбой, который можно компенсировать за счет уменьшения фиксированной части оплаты исполнителя. На основе предложенной модели можно построить систему мотивации обеспечения безопасности в различных областях. Предложенный подход может быть расширен на большее количество уровней, на каждом из которых вводится ответственность за инциденты различного масштаба.

Библиографический список

- [1] Krechowicz M. Effective risk management in innovative projects: a case study of the construction of energy-efficient, sustainable building of the laboratory of intelligent building in Cracow // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. – Т. 245. – №. 6. – С. 062006.
- [2] Bashynska I. et al. Risk management of innovative socially significant projects (on the example of urban passenger transport) // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET). – 2020. – Т. 11. – №. 4.
- [3] Mahendra P.A., Pitroda J.R., Bhavsar J.J. A study of risk management techniques for construction projects in developing countries // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2013. – Т. 3. – №. 5. – С. 139-142.
- [4] Mahmoudi A., Feylizadeh M. A mathematical model for crashing projects by considering time, cost, quality and risk // Journal of Project Management. – 2017. – Т. 2. – №. 1. – С. 27-36.
- [5] Carr V., Tah J.H.M. A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system // Advances in engineering software. – 2001. – Т. 32. – №. 10-11. – С. 847-857.
- [6] Nieto-Morote A., Ruz-Vila F. A fuzzy approach to construction project risk assessment // International Journal of Project Management. – 2011. – Т. 29. – №. 2. – С. 220-231.
- [7] Wright P. et al. Influences of top management team incentives on firm risk taking // Strategic Management Journal. – 2007. – Т. 28. – №. 1. – С. 81-89.
- [8] Яшин С.Н., Кошелев Е.В., Купцов А.В. Применение метода экономической добавленной стоимости для мотивации топ-менеджеров корпорации // Финансы и кредит. – 2018. – Т. 24. – №. 1 (769). – С. 52-64.
- [9] Felice F.D., Petrillo A., Zomparelli F. Human factors challenges in disaster management scenario // Human Factors and Reliability Engineering for Safety and Security in Critical Infrastructures. – Springer, Cham, 2018. – С. 171-187.
- [10] Hendi F., Rashed M.H. Improved Safety: The Importance of Aggregated Safety System // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. – OnePetro, 2021.
- [11] Кручинская В.С. КРІ и мотивация персонала, работающего над проектом // Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и перспективы развития. – 2014. – №. 6.
- [12] Арефьева Е.В., Рыбаков А.В., Арифджанов С.Б. Оценка техногенного риска на основе интегрального индекса // Новости науки Казахстана. – 2018. – №. 1. – С. 30-42.
- [13] Завернина О.А. Особенности мотивации авиационного персонала // Проблемы развития предприятий: теория и практика. – 2018. – С. 31-34.
- [14] Недосекин А.О., Рейшахрит Е.И., Ильенко Е.П. Нетрадиционный подход к обеспечению безопасности на горнодобывающих предприятиях на уровне системы мотивации персонала // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. – 2016. – №. 2. – С. 30-39.

- [15] Sinha A., Malo P., Deb K. A review on bilevel optimization: from classical to evolutionary approaches and applications // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2017. – Т. 22. – №. 2. – С. 276-295.

D.A. Maslennikov, L.Yu. Kataeva

MODEL OF BILEVEL MANAGEMENT OPTIMIZATION TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Catastrophic events in natural and technogenic systems lead not only to significant losses and casualties, but also to environmental consequences, often underestimated. Despite the fact that there are many papers in the field of risk management and personnel motivation, the task of optimal behavior of safety workers under different parameters of incentives by the organization has not been sufficiently investigated. The problem of risk management is one of the key tasks of safety. This paper proposes a mathematical model of bilevel management, in which the organization is interested in minimizing disaster risk and safety costs and determines the performance criteria of the executor, while the executor seeks to minimize its costs of performance and risk of liability for the disaster. The influence of the difference between the possible damage from the catastrophe and the measure of liability on the imbalance between the measures of different levels is shown. The proposed system of bilevel management can become the basis for development of more complex systems of incentives for employees in the field of safety of critical systems, which have risks related to environmental safety not only of the country, but also of the world at large.

Keywords: bilevel optimization, environmental safety, risk management, key performance indicators, management.

References

- [1] Krechowicz, M. (2017). *Effective risk management in innovative projects: a case study of the construction of energy-efficient, sustainable building of the laboratory of intelligent building in Cracow*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- [2] Bashynska, I., Kovalova, O., Malovichko, O., Shirobokova, O. (2020). *Risk management of innovative socially significant projects (on the example of urban passenger transport)*. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET).
- [3] Mahendra, P.A., Pitroda, J.R., Bhavsar, J.J. (2013). *A study of risk management techniques for construction projects in developing countries*. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. pp. 139-142.

- [4] Mahmoudi, A., Feylizadeh, M. (2017). *A mathematical model for crashing projects by considering time, cost, quality and risk*. Journal of Project Management. pp. 27-36.
- [5] Carr, V., Tah, J.H.M. (2001). *A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system*. Advances in engineering software. pp. 847-857.
- [6] Nieto-Morote, A., Ruz-Vila, F. (2011). *A fuzzy approach to construction project risk assessment*. International Journal of Project Management. pp. 220-231.
- [7] Wright, P., Kroll, M., Krug, J.A., Pettus, M. (2007). *Influences of top management team incentives on firm risk taking*. Strategic Management Journal. pp. 81-89.
- [8] Yashin, S.N., Koshelev, E.V., Kuptsov, A.V. (2018). [Application of economic value-added method to motivate the corporation's top managers]. *Finansy i kredit* [Finance and credit]. pp. 52-64. (In Russ).
- [9] Felice, F.D., Petrillo, A., Zomparelli, F. (2018). *Human factors challenges in disaster management scenario*. In *Human Factors and Reliability Engineering for Safety and Security in Critical Infrastructures*. Springer, Cham. (pp. 171-187).
- [10] Hendi, F., Rashed, M.H. (2021). *Improved Safety: The Importance of Aggregated Safety System*. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. OnePetro.
- [11] Kruchinskaya, V.S. (2014). [KPI and motivation of personnel working on the project]. *Infrastrukturnye otrasli jekonomiki: problemy i perspektivy razvitija* [Infrastructural sectors of the economy: problems and prospects for development]. (In Russ).
- [12] Arefieva, E.V., Rybakov, A.V., Arifjanov, S.B. (2018). [Technogenic risk assessment based on the integral index]. *Novosti nauki Kazakhstana* [Science News of Kazakhstan]. pp. 30-42. (In Russ).
- [13] Zavarmina, O. A. (2018). [Peculiarities of motivation of aviation personnel]. *Problemy razvitija predpriyatij: teorija i praktika* [Problems of Enterprise Development: Theory and Practice]. pp. 31-34. (In Russ).
- [14] Nedosekin, A.O., Reishakhrit, E.I., Ilyenko, E.P. (2016). [The non-traditional approach to safety in mining enterprises at the level of personnel motivation system]. *Korporativnoe upravlenie i innovacionnoe razvitie jekonomiki Severa: Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo centra korporativnogo prava, upravlenija i venchurnogo investirovanija Syktyvkarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Corporate Governance and Innovative Development of the Northern Economy: Bulletin of the Research Center for Corporate Law, Management and Venture Capital Investment, Syktyvkar State University]. pp. 30-39. (In Russ).
- [15] Sinha, A., Malo, P., Deb, K. (2017). *A review on bilevel optimization: from classical to evolutionary approaches and applications*. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. pp. 276-295.