

UDC 648(07)

DOI 10.52171/herald.300

Solving the Problem of Determining an Intelligent Decision-Making System in the Industrial Safety Management System

S.R. Rasulov¹, S.A. Solod², E.Z. Yagubov², N.A. Abdullayeva¹

¹ *Azerbaijan State Oil and Industry University (Baku, Azerbaijan)*

² *Maykop State Technological University (Maykop, Adygea, Russian)*

For correspondence:

Sakit Rasulov / e-mail: rasulovsakit@gmail.com

Abstract

The article considers the problem of determining an intelligent decision-making and management system in the occupational safety management system at industrial enterprises based on game theory. For clarity and simplicity of presentation, we will assume that each of the parties involved in the conflict has two management strategies and for this reason it is possible to limit the solution of the problem on the basis of matrix and bimatrix games. The problem of determining the type of antagonism between the players and determining the goals of the systems, clarifying their interests is considered. The basic control subsystem is described, which will be described by a weight function, its parameters depend on the solution of the game problem and the choice of the intelligent control subsystem for the purpose of the system and the corresponding indicators and optimization criteria.

Keywords: occupational safety management system, conflict, game theory, intelligent decision-making systems, intelligent management system, matrix game.

Submitted 5 December 2024

Published 22 September 2025

For citation:

S.R. Rasulov, S.A. Solod, E.Z. Yagubov, N.A. Abdullayeva

[Solving the Problem of Determining an Intelligent Decision-Making System in the Industrial Safety Management System]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (3), pp. 91-97

Sənaye təhlükəsizliyi idarəetmə sistemində intellektual qərar qəbuletmə sisteminin müəyyən edilməsi probleminin həlli

S.R. Rəsulov¹, S.A. Solod², E.Z. Yaqubov², N.A. Abdullayeva¹

¹*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı, Azərbaycan)*

²*Maykop Dövlət Texniki Universiteti (Maykop, Adıgey, Rusiya)*

Xülasə

Məqalədə oyun nəzəriyyəsi əsasında sənaye müəssisələrində əməyin mühafizəsi idarəetmə sistemində intellektual qərarların qəbulu və idarəetmə sisteminin müəyyən edilməsi problemi nəzərdən keçirilir. Məlumatın aydınlığı və sadəliyi üçün münaqişə ilə bağlı iştirak edən tərəflərin hər birinin iki idarəetmə strategiyasına malik olduğunu qəbul edəcəyik və buna görə də problemin həllini matris və bimatris oyunları əsasında məhdudlaşdırmaq mümkündür. Oyunçular arasında antagonizmin növünü müəyyənləşdirmək, sistemlərin məqsədlərini aydınlaşdırmaq və onların maraqlarını müəyyən etmək problemi müzakirə olunur. Əsas idarəetmə alt sistemi təsvir olunur, bu da ağırlıq funksiyası ilə təsvir ediləcək, onun parametrləri oyun probleminin həllindən və sistemin məqsədinə uyğun ağıllı idarəetmə alt sisteminin seçilməsindən, müvafiq göstəricilərdən və optimallaşdırma meyarlarından asılıdır.

Açar sözlər: əməyin mühafizəsi idarəetmə sistemi, münaqişə, oyun nəzəriyyəsi, ağıllı qərar vermə sistemləri, ağıllı idarəetmə sistemi, matris oyunu.

Решение задачи определения интеллектуальной системы принятия решения в системе управления безопасностью труда промышленных производств

С.Р. Расулов¹, С.А. Солод², Е.З. Ягубов², Н.А. Абдуллаева¹

¹*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (Баку, Азербайджан)*

²*Майкопский государственный технологический университет (Майкоп, Адыгея, Россия)*

Аннотация

В статье рассмотрена задача определения интеллектуальной системы принятия решения и управления в системе управления безопасностью труда на промышленных предприятиях на основе теории игр. Для наглядности и простоты изложения будем полагать, что каждая из сторон, принимающих участие в конфликте, имеет две стратегии управления и по этой причине можно ограничить решение задачи на основе матричной и биматричной игр. Рассмотрена задача определения типа антагонизма между игроками и определения целей действия систем, выяснения их интересов. Описана базовая подсистема управления, которая будет описываться весовой функцией, ее параметры зависят от решения игровой задачи и выбора подсистемой интеллектуального управления цели системы и соответствующих показателей и критериев оптимизации.

Ключевые слова: система управления безопасностью труда, конфликт, теория игр, интеллектуальные системы принятия решения, интеллектуальная система управления, матричная игра.

Введение

Рассмотрим задачу определения интеллектуальной системы принятия решения и управления (в системе управления безопасностью труда промышленных предприятий, на примере теории игр), на вход которой поступает сигнал, представляющий сумму полезного сигнала $G(t)$ и помехи $Z(t)$. При этом будем предполагать, что слежение за полезным сигналом осуществляет интеллектуальная система управления (игрок А), а помеху формирует противоположная сторона (игрок В), которая выбирает характеристики такими, чтобы ошибки следящей системы были большими. В результате возникает конфликт, который часто рассматривается в теории игр [1-10].

Постановка задачи

Для простоты и наглядности изложения будем полагать, что каждая из сторон имеет две стратегии управления и по этой причине можно ограничить решение задачи на основе матричной и биматричной игр.

Решение задачи

Пусть помеха представляет собой нормально распределенный белый шум с интенсивностями α_1 , α_2 , выбором величины которых управляет игрок А. Полезный сигнал $G = G_0$ – числовая случайная величина, принимающая значения β_0 и $-\beta_0$ с вероятностью 0,5, величина которых формируется игроком В и может принимать значения β_{01} , β_{02} .

Желаемая выходная величина формируемой системы слежения – полезный сигнал. Система выбирается на классе стационарных систем, время регулирования которых не превосходит время T .

В качестве показателя качества системы принимается суммарная ошибка системы – ошибка системы D_Σ , которая определяется биномиальным распределением полезного сигнала D_1 и случайным характером помехи D_2 .

Следуя описанию, изложенному выше, запишем ошибки системы в следующем виде, формула 1:

$$D_1 = \int_0^T \int_0^T \delta(\tau_1 - \tau_2) \omega(\tau_1) \omega(\tau_2) d\tau_1 d\tau_2, \quad (1)$$

где $\delta(\tau_1 - \tau_2)$ – дельта-функция, принимающая нулевое значение, если $(\tau_1 - \tau_2) \neq 0$, и равна ∞ , если $(\tau_1 - \tau_2) = 0$; $\omega(\tau_1)$ – весовая функция при переменной τ_1 ; $\omega(\tau_2)$ – весовая функция при переменной τ_2 ;

$$D_2 = (\beta_0)^2 \left\{ \int_0^T \omega(\tau) d\tau - 1 \right\}^2 D_\Sigma = D_1 + D_2. \quad (2)$$

Базовая подсистема управления будет описываться некоторой весовой функцией, параметры которой зависят не только от решения игровой задачи, выбора подсистемой интеллектуального управления цели системы, но и соответствующих показателей и критериев оптимизации [11, 12].

Тогда для иллюстрации примем $T = 1$, и выражение для весовой функции можно записать в виде:

$$\omega_{ij}(\tau) = \beta_{0j}^2 (\alpha_i + \beta_{0j}^2)^{-1}, \quad (3)$$

где управление реализуется в виде весовых функций в зависимости от стратегий игроков (β_{0j}^2 максимизирует дисперсию ошибки, а α_i минимизирует ошибку слежения).

В этом случае дисперсии для принятой весовой функции записываются в

следующем виде:

$$D_1^{II} = \alpha_i (\alpha_i \beta_{0j}^2 + 1)^{-2}, D_2^{II} = \alpha_i^2 \beta_{0j}^2 (\alpha_i + \beta_{0j}^2)^{-2}. \quad (4)$$

Интеллектуальная подсистема В, наблюдая с помощью своих информационных и физических датчиков за игроком А, определяет его действия и формирует свою стратегию движения в каждой конкретной ситуации. Возникает задача ситуационного управления движением, когда решения и управления должны осуществляться в соответствии с той ситуацией, которая складывается в текущий момент конфликта.

Одной из наиболее сложных задач в данном случае является задача определения типа антагонизма между игроками и определения целей действия систем, выяснения их интересов. В практике конфликтных ситуаций о действиях другой стороны или игрока, как правило, используется информация, получаемая через информационные сообщения, телекоммуникационные сети и путем сбора различными способами конфиденциальной информации.

При реализации интеллектуальной экспертной системы используются эксперты и их оценки, возможен и аналитический подход к решению идентификации намерений и цели противоположной стороны на основе анализа конфликта. Если реализуется интеллектуальная подсистема на основе ситуационного управления, то возможна декомпозиция общей задачи на две части, когда интеллектуальная подсистема идентифицирует конкретную ситуацию, а управление в конкретной ситуации формируется на основе решения игровых задач для определения неопределенных стратегий или неопределенных параметров противодействующей стороны.

Вместе с тем интеллектуальная подсистема должна определять тип модели игры в конфликте. Возникает вопрос, как это может реализовать интеллектуальная подсистема и существует ли такая возможность?

Покажем возможность оценки действий соперника на основе обработки информации по решению задачи с помощью теории игр [13]. Для этого проанализируем результаты принятия решения при реализации матричной антагонистической игры. Вначале рассмотрим влияние конфликта на управление на примере единичной ситуации, когда время управления T фиксировано и единственное, а затем рассмотрим условную модель ситуационного управления на основе сценария, в котором достижение цели обеспечивается несколькими ситуациями управления в разные моменты времени T_v .

Примем, что игроки могут реализовать по две стратегии, т.е. конфликт описывается матрицей размерности 2×2 , где $(\beta_{01}^2 = 1, \beta_{02}^2 = 2)$ – значение стратегий игрока В и $(\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 2)$ – значение стратегий игрока А. В этом случае, при принятых исходных данных матрицы выигрышей, можно записать в следующих видах (таблицы 1-3).

Таблица 1 – При анализе системы по дисперсии D_2

Table 1 – When analyzing the system by dispersion D_2

Стратегии В/А	$\beta_{01}^2 = 1$	$\beta_{02}^2 = 2$	Min по j	Max min
$\alpha_1 = 1$	0,5	0,667	0,5	0,5
$\alpha_2 = 2$	0,333	0,4	0,4	
Max по i	0,5	0,667		
Min max=	0,5			

Таблица 2 - При анализе системы по дисперсии D_1

Table 2 - When analyzing the system by dispersion D_1

Стратегии B \ A	$\beta_{01}^2 = 1$	$\beta_{02}^2 = 2$	Min по j	Max min
$\alpha_1 = 1$	0,25	0,011	0,011	
$\alpha_2 = 2$	0,011	0,08	0,08	0,08
Max по i	0,011	0,08		
Min max=	0,08			

Таблица 3 - При анализе системы по дисперсии D_Σ

Table 3 - When analyzing the system by dispersion D_Σ

Стратегии B \ A	$\beta_{01}^2 = 1$	$\beta_{02}^2 = 2$	Min по j	Max min
$\alpha_1 = 1$	0,75	0,678	0,678	
$\alpha_2 = 2$	0,344	0,48	0,48	0,48
Max по i	0,75	0,48		
Min max	0,48			

Все три антагонистические игры имеют седловые точки в чистых стратегиях, но цены игр у них разные:

$$\max_i \min_j D_{\mu}^{ij} = \min_j \max_i D_{\mu}, \mu = (1, 2, 3), I = J = (1, 2) \quad (5)$$

Интересным результатом анализа дисперсий ошибок анализируемой системы является то, что гарантированная суммарная ошибка системы (равна 0,48) меньше гарантированной ошибки, получаемой только при учете нормальной составляющей ошибки (равной 0,5). Это также связано с тем, что дисперсии ошибок от

изменения сигнала помехи существенно меньше при α_2 влияют на дисперсию D_1 . По этой причине, если игрок А будет выбирать свою стратегию из условия увеличения дисперсии помехи, то он может быть наказан игроком В, который в этом случае может реализовать свою стратегию $\beta_{01}^2 = 1$ (провести адаптивное управление) и благодаря этому получить дополнительный выигрыш, который будет равен 0,344, т.е. меньше гарантированного выигрыша на 0,135 (уменьшает дисперсию на 28.5%). Таким образом интеллектуальная подсистема на основе получения оценок интенсивности шума сможет определить, какой стратегии придерживается игрок А при противодействии игроку В.

Логика рассуждений интеллектуальной подсистемы может быть продолжена в том направлении, если игрок В откажется от использования гарантированных оценок, а будет применять критерии: минимаксного сожаления Сэвиджа, пессимизма-оптимизма Гурвица, «недостаточного основания» Бернулли.

Рассмотрим теперь случай, когда для достижения поставленной цели управления необходимо выполнения нескольких операций по слежению, согласно определенному сценарию (рис.), в котором последовательно реализуются три ситуации со временем управления $T_1=1$, $T_2=2$, $T_3=3$, а также показано начало работы системы и достижение цели в случае успешного выполнения всех планируемых операций.

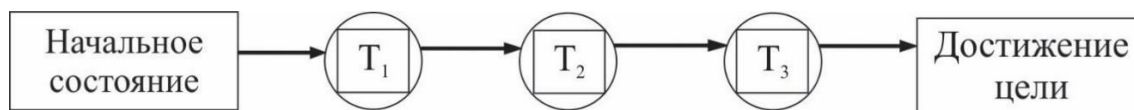


Рисунок – Сценарий сетевой модели, вершины которой соответствуют фактам, а дуги связям

Figure – Scenario of a network model, the vertices of which correspond to facts, and the arcs to connections

Таблица 4 – Виды управления, применяемые при конкретном уровне нестабильности

Table 4 – Types of control applied at a specific level of instability

Уровень нестабильности	Вид управления
1. Стабильность	Управление на основе инструкций (в том числе и по БТ)
2. Реактивность	Реактивное управление
3. Предвидение	Долгосрочное планирование
4. Исследование	Управление на основе предвидения изменений
5. Творчество	Стратегическое управление на основе гибких экстренных решений

В качестве критерия эффективности достижения цели примем условие получения оптимальных оценок в каждой ситуации, как это было сделано в первой ситуации при T_1 .

Для произвольного T_v дисперсии и определяемые весовые функции будут равны

$$\begin{aligned} D_1^J &= T_v \alpha_i (\alpha_i \beta_{0J}^2 + T_v)^{-2}, \\ D_2^J &= \alpha_i^2 \beta_{0J}^2 (\alpha_i + T_v \beta_{0J}^2)^{-2}, \\ \omega_J(\tau) &= \beta_{0J}^2 (\alpha_i + T_v \beta_{0J}^2)^{-1}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $v = (1, 2, 3)$, $i = (1, 2)$, $J = (1, 2)$, если использовать данные, принятые в начальных расчетах дисперсий и весовой функции при T_1 .

Одним из интересных предложений по развитию интеллектуальной подсистемы для оценки степени антагонизма между игроками и соответственно между интеллектуальными системами в условиях конфликта стало использование теории биматричных игр (таблицы 4 и 5).

Таблица 5 – Уровни нестабильности, который существует вокруг организации (компании в целом)

Table 5 – Levels of instability that exist around the organization (the company as a whole)

Уровень нестабильности	Вид стратегического управления
3,0-3,5	стратегическое планирование
3,5-4,0	управление посредством выбора стратегических позиций
4,0-4,25	управление путем ранжирования стратегических задач
4,25-4,75	управление в условиях слабых сигналов
4,75-5,0	управление в условиях стратегических неожиданностей

Заключение

В современных условиях уровень нестабильности очень высок, поэтому все чаще на предприятиях применяется управление 4 и 5.

Уровень нестабильности зависит и от отрасли, в которой хозяйствует компания.

По сути, выбор метода стратегического управления осуществляется в зависимости от уровня нестабильности в рассматриваемой отрасли. Все развитие стратегического управления идет по пути усложнения методов управления, которые должны были учитывать происходящие изменения и все более высокий уровень нестабильности, который требовал более эффективного управления.

Таким образом, каждый вид стратегического управления целесообразно применять при определенном значении уровня

нестабильности, который существует вокруг промышленного предприятия и отрасли в целом.

Чем выше уровень нестабильности, тем сложнее управление и больше усилий необходимо затрачивать для перехода на такой вид управления.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. **Maxmutov N.A.** (2017). Bezopasnosti i riski: sistemnye issledovaniya i razrabotki. novosibirsk nauka, s. 724.
2. **Jirkov P.A., İvanov A.V, Raevskaya M.G.** (2017). O pravovom regulirovanii funktsionirovaniya i razvitiya informatsionno-texnologicheskoi osnovy mezhvedomstvennogo informatsionnogo vzaimodeystviya. Problemi bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsii. № 6 . s.14-25.
3. **Fribman A.Ya., Kulik B.A.** (2022). Situatsionnaya kontseptualnaya model dlya sistemy situatsionnyx tsentrov. Gibridnie i sinergeticheskiye intellektualnyye sistemy. Materialy VI Vserossiyskoy Pospelovskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Kaliningrad. s. 213-220.
4. **Antonelli A., Smith R. J., Simmonds M.S.J.** (2019). Unlocking the properties of plants and fungi for sustainable development. Nature Plants 5:1100-1102. DOI: 10.1038/s41477-019-0554-1.
5. **Borgest N.M., Simonova E.V.** (2009). Osnovy postroyeniya multiagentnykh sistem, ispolzuyushchikh ontologii. Samara İzd-vo Samar. gos. aerokosm. un-ta, s 80.
6. **Massel L.V., Massel A.G.** (2013). Semanticheskie texnologii na osnove integratsiyai ontologicheskogo, kognitivnogo və sobytiinogo modelrovaniya. III mezhdunar. nauchno-texnich. Konf. otkritie semanticheskie texnologii proektirovaniya intellektualnyx sistemi. Minsk Belarusiya. 21-23 fevralya. s. 247-250.
7. **İzmalkov V.A.** (2018). Sovremennyye tendensii razvitiya programmnogo i drugikh vidov obespecheniya AIUS RSCS. Texnologii grazhdanskoi bezopasnosti. T.15. №4 (58). s. 48-51.
8. **Trofimova N.V., Antamoshkin O.A., Antomoshkina O.A., Nichenorchuk V.V.** (2011). Sistema podderzhki prinyatiya reshenii po reagirovaniyu na ChS i proisshestviya na opasnyx proizvodstvennykh obektax. Texnologii grazhdanskoi bezopasnosti.T.8. №4(30). s. 64-70.
9. **Gorban A.N.,Pitenko A.A., Zinovyev A.Y., Wunsch D.C.** (2011) Vizualization of any data using elastic map method. International Journal of Smart Engineering System Design. V.11, p. 363.
10. **Mammadova K.A.** (2023),TOPSİS Method and Fuzzy Rules on the Decision Making Based. Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, vol. 15, №3, pp. 104-110 .
11. **Solod S.A., Gega E.A., Novikov V.V.** (2008). Situatsionnye zadachi upravleniya pri prinyatii reshenii rukovoditelem v usloviyax informatsionnoi neopredelennosti. Maşinostroenie: Mezhevuzovskii sbornik nauchnix statei (vtoroi vypusk). Pod obsh. Red. Prof. V.Q. Solonenko. KubQTU. Krasnodar. Izd-vo KubQTU, 159 s., s. 69-73.
12. **Qumbatov R.T., İbrahimov B.Q., İbrahimov R.F.** (2018). Ob odnom metode zashchity pereda-vaemoi informatsii v telekommunikatsionnyx sistemax. Vestnik Azerbaidjanskoi İnzhenernoi Akademii, tom 10, №2. s. 72-77.
13. **Solod S.A., Novikov V.V. i dr.** (2009). Situatsionnyi podkhod pri proektirovanii sistem upravleniya bezopasnostyu truda na promıslennyx predpriyatiyax. Krasnodar: Izdatelskii Dom Yug.