computing@computingonline.net
www.computingonline.net

ISSN 1727-6209
International Journal of Computing

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ИГР В ПЛАНИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСАМИ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ *

Ян Калуски

Силезский Политехнический Институт, Гливице, Польша
jan.kaluski@polsl.pl

Резюме: *В работе предлагается теоретико-игровой подход к решению проблем планирования и (контроля) ресурсов на примере горнодобывающего предприятия. Обосновано применение иерархической двулицевой игры с ненулевой суммой в качестве модели принятия стратегических решений в управленческой ситуации предприятия. Для сформулированных чистых стратегий обоих игроков (государство и его законы о заказах, с одной стороны – игрок G1 и горное предприятие, с другой стороны – игрок G2) за основу принято решение игры в виде оптимальных стратегий Стаккельберга. Сценарий предложенной игры был верифицирован в реальных условиях горнодобывающего предприятия.*

Ключевые слова: *горнодобывающее предприятие, игровые модели, стратегическое планирование.*

GAME-THEORETICAL MODEL APPLICATION'S TO PLANNING AND CONTROLLING OF THE MATERIAL RESOURCES IN MINE INDUSTRY

Jan Kałuski

Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
jan.kaluski@polsl.pl

Abstract: *The game-theoretical approach to the planning and management of materials needed for the mining enterprise is presented. The hierarchical two-person game with non-zero-sum was developed and justified. For the pure strategies of two persons-players (a government and its laws from one side, and a mining enterprise from another side) a game – decision was selected in a form of the Stackelberg optimal strategies. A scenario of the proposed game has been verified on the example of real data from the coal mine.*

Keywords: *real game theory, scenario, optimal strategies, mathematical modelling, planning and management, mining enterprise.*

ВВЕДЕНИЕ

Планирование материальных потребностей на каждом современном предприятии является неизменно важной и актуальной проблемой. Эта отрасль знаний уже обросла множеством публикаций, касающихся моделей и методов оптимального планирования ресурсов. Ведущим в этом отношении являются многокритериальные методы оптимизации. Методы эти, поддерживаемые компьютерной техникой, дают результаты с требуемою точностью. Они используются не только в планировании материальных потребностей, но и также в контролировании и управлении этими потребностями, в том числе и материальными запасами. Методы многокритеральной оптимизации трудоёмки, математически сложны и требуют многочисленных и точных данных для их использования, поэтому на предприятии преимущественно употребляются на тактическом или оперативном уровнях.

Горнодобывающие предприятия, а в особенности шахты каменного угля с учетом

Работа финансирована из средств польской науки. Грант N N524 552038, 2010.

условий их работы и специфики продукции, являются объектами трудно управляемыми, а вопросы принятия решений по требуемому материальному обеспечению в процессе добычи угля ещё недостаточно исследованы. Математическое моделирование производственных процессов в горнодобывающей промышленности в настоящее время преимущественно применяется лишь в моделировании горной породы и связанных с этим проблем. Применение же математического моделирования в принятии решений по управлению добычи угля, как менеджерское решение, всё ещё недостаточно используется. Однако в имеющихся современных проблемах по добыче угля в Польше, всё более востребованным является применение математического моделирования в управлении шахтами каменного угля. Необходимо здесь упомянуть, что попытки применения различных математических методов в принятии решений в горнодобывающей промышленности проводились неоднократно. В качестве примера можно привести работу С. Ковалика [2], где изложены теоретико-игровые методы принятия решений в горнодобывающей промышленности.

В связи с вышесказанным целью настоящей работы является предложение и обоснование теоретико-игровой модели для планирования и контролирования материальных потребностей в шахте каменного угля на стратегическом уровне.

Далее, в 1 разделе работы предлагается сценарий соответствующей игры с целью обоснования вида игры. Во 2 разделе работы предложена и обоснована двулицевая игра с ненулевой суммой в качестве иерархической стратегической игры Стаккельберга. В 3 разделе приводится пример решения такой игры использующей данные полученные на горном предприятии. В 4 разделе приводятся дискуссия и выводы.

1. ПОСТРОЕНИЕ СЦЕНАРИЯ ИГРЫ

При планировании величины ресурсов в горнодобывающем предприятии первостепенную роль играет процедура государственных заказов. Процедура заказов установлена государственным законом. Число проведения определённых заказов на выбранный материл нужный в производственном процессе ограничено законом. Это существенно ограничивает манёвренность предприятия и принуждает его к аккуратному и оптимальному планированию ресурсов в ходе производственного процесса (в этом случае – добыча угля) горного предприятия. И так оптимальное планирование нужного количества и вида материала должно учитывать множество различных критериев (обычно их больше чем два) а также различные условия производства. Ограничения обусловленные государственным законом для заказов это, прежде всего временные ограничения, поэтому особенно при стратегическом планировании уровня ресурсов это ограничение, безусловно, должно выполняться.

Каким образом в этом случае должно поступать горнодобывающее предприятие (сокращённо ГДП)? Чтобы ответить на этот вопрос рассмотрим решающую ситуацию при заказе только одного вида требуемого материала на стратегическом уровне. В этом случае пути решения могут быть различными. Однако, учитывая упомянутые временные ограничения в виду действия закона по заказам, а также имеющуюся практику в этом отношении в горнодобывающей промышленности, можно ограничиться, по крайней мере, тремя разными стратегиями действиями:

1) Однократный полный заказ нужного количества материала, например, на срок одного года.

Стратегия эта состоит в том, что в определённое время предприятие заказывает полное прогнозируемое количество материала, которое в последствии постепенно используется в течении года в ходе производственного процесса.

2) Полное прогнозируемое количество требуемого материала делится на равные части (порции) в зависимости от максимального количества сроков проведения заказа.

Эта стратегия уже более эластичная, но и более сложная, ибо требует строгого соблюдения сроков проведения заказов на определённое количество материала. Тактика и оперативные действия в случае применения этой стратегии требуют уже адекватных оптимизационных моделей в частности многокритериального программирования. В этом отношении мы имеем дело с непрерывном востребованием материала.

3) Третья стратегия действия в этом случае состоит в периодическом (быть может случайном) заказе определённого количества материала с терминами заказов необязательно учитывающими все доступные термины заказов в течении года. Термины заказов в этом случае могут определяться исходя из непрерывного мониторинга имеющихся ресурсов данного вида материала.

Описанная стратегия позволяет управлять запасами материалов на тактическом или же оперативном уровнях.

В рамках предложенных трёх стратегий действия при принятии решений по планированию нужного количества материалов возможными являются и другие более изысканные стратегии, которые, однако, в этой работе не будут освещаться, а их пренебрежение в дальнейшем не отразится на общем сценарии решающей игры.

Подводя частичные итоги в виду выше сказанного необходимо отметить, что одноразовое планирование полного требуемого количества материала для обеспечения хода производства в угольной шахте в течении года является заданием необычно трудным и требует точного учета многочисленных показателей подчас когда их точную величину трудно определить ибо они по всей вероятности расплывчаты и не надёжны. Что касается двух следующих предложенных стратегий то они по формулировке различны однако более надёжны при планированию требуемого количества материалов чем первая стратегия, но в отличии от первой стратегии, эти стратегии уже требуют применение трудоёмких математических методов планирования и прогнозирования с применением электронно-вычислительной техники.

Вследствие проведённого анализа становится очевидным некий сценарий принятия решений по стратегическому планированию необходимых ресурсов на горнодобывающем предприятии с учётом теоретико-игрового подхода.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕШАЮЩЕЙ СИТУАЦИИ

Математическое моделирование решающих проблем является заданием всегда трудным и к сожалению мало эффективным. Причиной такого состояния вещей не является отнюдь нехватка методов оптимизации проблем принятия решений, но адекватность применения этих методов в имеющихся условиях предприятия. Условия эти очень трудно поддаются идентификации или же очень быстро изменяются и перестают быть актуальными в данный период времени. Очень важным является применение таких оптимизационных методов при планировании материальных ресурсов предприятия, которые очень малочувствительны (устойчивые) к изменениям условий производственного процесса (ГДП), а также к последствиям неточной и неполной идентификации.

Применение в этом случае методов теории игр порождает естественные сценарии действия в решающем процессе. Для этих методов изменчивость условий производственного процесса ГДП сравнительно легко моделируются, а имеющиеся неточности в идентификации условий этого процесса почти не влияют на сценарий решающей оптимизационной проблемы. Безусловно, множество различных сценариев описывающих решающую ситуацию велико. Это ведёт в свою очередь к различным стратегическим и нестратегическим играм, которые могут быть детерминистскими или стохастическими. В данной работе мы, однако, не будем детально оговаривать эти вопросы. Имеются по этому поводу многочисленные источники. Упомянем здесь только некоторые [1,3,4,5]. На эту тему можно в них найти методы теоретико-игрового моделирования различных решающих проблем.

Исследуя решающую ситуацию для стратегического планирования материальных ресурсов в горнодобывающем предприятии намечается определённый сценарий решающей ситуации в виде двулицевой стратегической игры. С одной стороны мы имеем игрока, который независимо от предприятия решает о возможности проведения заказа на требуемый материал на данном предприятии. Этот игрок в иерархическом порядке стоит выше, чем игрок решающий проблему заказа на уровне предприятия. В терминологии теории двулицевых стратегических игр игрок этот, как видно, имеет две чистые стратегии:

<u>1 стратегия</u> – разрешить проведение заказа на нужный материал в ГДП

<u>2 стратегия</u> – отказать проведения такого заказа.

Этого игрока мы будем называть первым игроком – **ведущим** (leader) и обозначать через $\mathbf{G_1}$. Игрок этот вынуждает свои стратегии.

Возвращаясь к уже описанному сценарию принятия решений о заказе материалов на уровне предприятия видим, что второй игрок – ГДП имеет 3 чистые стратегии действия;

<u>1 стратегия</u> – одноразовый заказ полного объёма требуемых материалов,

<u>2 стратегия</u> – непрерывный заказ материалов, т.е. в каждом из возможных терминов проведения заказа (деление общего объёма нужного материала на равные части или на заранее определённые части согласно терминам заказов),

<u>3 стратегия</u> – периодический заказ нужных материалов согласно терминам заказов с учётом данных по мониторингу имеющихся запасов материалов.

Этого игрока мы будем называть **ведомым** (follower) и обозначать через $\mathbf{G_2}$. Этот игрок, как видно в иерархии стоит ниже. Его решения зависят от терминов проведения заказов, которыми управляет **G₁**.

Уточняя решающую ситуацию в виде игры скажем, что в данном случае мы имеем дело с моделью иерархической двулицевоой стратегической игрой с ненулевой суммой. Как известно в такой игре существует равновесие игры в смысле Штаккельберга [1].

Для дальнейшего понимания данной работы мы представим необходимый математический формализм касающийся предложенной модели игры (смотри на пример [1]). Каждую стратегическую двулицевую игру можно формально записать в виде определённой матрицы иле же тн. дерева игры. В этой работе мы сосредоточимся на матричной игре и с её помощью будем моделировать имеющуюся решающую ситуацию. В этом случае строится матрица размерностью *(mxn)* с m- строками и n-столбцами. Строки в этой матрицы представляют чистые стратегии игрока $\mathbf{G_1}$ столбцы же это чистые стратегии игрока $\mathbf{G_2}$. В нашем случае мы можем записать игру в виде матрицы (2x3). В общем же случае число чистых стратегий игрока $\mathbf{G_1}$ можно записать как m, $i=1,2,\ldots,m$ а число чистых стратегий второго игрока $\mathbf{G_2}$ как n, $j=1,2,\ldots,n$. Итак, в общем случае будем иметь дело с матрицей размерностью *(mxn)*. Матрица эта построена из двойных элементов вида (a_{ij},b_{ij}) и поэтому её называют двойной матрицей или биматрицей.

Предложенная игра записывается в виде биматрицы размерностью (*mxn*)

$$[(a_{ij},b_{ij})]=\begin{bmatrix}(a_{11},b_{11}) & (a_{12},b_{12}) & \ldots & (a_{1n},b_{1n})\\ (a_{21},b_{21}) & (a_{22},b_{22}) & \ldots & (a_{2n},b_{2n})\\ (a_{i1},b_{i1}) & \ldots & (a_{ij},b_{ij}) & (a_{in},b_{in})\\ (a_{m1},b_{m1}) & \ldots & \ldots & (a_{mn},b_{mn})\end{bmatrix} \tag{1}$$

В данной игре игрок $\mathbf{G_1}$ выбирает i-тую строку из $i=\overline{1,m}$, в качестве своей стратегии действия (элементы a_{ij}.). Игрок $\mathbf{G_2}$ вбирает же j – тый столбец $j=k(i)$, из $j=\overline{1,n}$, для которого $b_{ik}\le b_{ij}$ (элементы b_{ij}).Обозначая множество всех чистых стратегии $k(i)$ через $R(i)$ можно получить стратегию равновесия Штаккельберга i_0 для ведущего игрока $\mathbf{G_1}$ из соотношения

$$\max_{j\in R(i_0)} a_{i_0 j} = \min_{i} \max_{j\in R(i)} a_{ij} = S^*(A) \tag{2}$$

где S*(A) тн. стоимость Штаккельберга. Оптимальной же стратегией Штаккельберга второго игрока $\mathbf{G_2}$ является стратегия $j_0\in R(i_0)$.

Поясним ещё здесь понятие тн. решения Штаккельберга и результат равновесия в смысле Штаккельберга. Итак ежели i_0 – оптимальная стратегия Штаккельберга для ведущего игрока $\mathbf{G_1}$, а $j_0\in R(i_0)$ – оптимальная стратегия игрока $\mathbf{G_2}$, тогда пара чистых стратегий (i_0,j_0) является решением в смысле Штаккельберга а соответствующая им пара стоимостей (a_{i0j0},b_{i0j0}) является результатом равновесия в игре по Штаккельбергу.

Таким образом, нами сформулирована решающая проблема планирования ресурсов на горнодобывающем предприятии на стратегическом уровне в виде иерархической двулицевой стратегической игры с ненулевой суммой и равновесием Штаккельберга. С целью решения конкретной задачи по планированию ресурсов этим методом и ответа на вопрос какую стратегию действия должно применить предприятие, необходимо иметь определённые данные, полученные на горном предприятии для заполнения биматрицы теоретико-игровой модели. По чисто практическим соображениям решения оптимизационной задачи по формуле (2), данные эти получают отдельно для элементов обеих матриц, т.е. получаем две матрицы вида

$$A=[a_{ij}]=\begin{bmatrix}a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n}\\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2n}\\ \vdots & & & \\ a_{m1} & \ldots & \ldots & a_{mn}\end{bmatrix}, \qquad B=[b_{ij}]=\begin{bmatrix}b_{11} & b_{12} & \ldots & b_{1n}\\ b_{21} & b_{22} & \ldots & b_{2n}\\ \vdots & & & \\ b_{m1} & \ldots & \ldots & b_{mn}\end{bmatrix} \tag{3}$$

3. ПРИМЕР

Для полноты рассуждений приведём краткий пример нахождения оптимальных стратегий Штаккельберга и решения оптимизационной задачи в смысле Штаккельберга. Матрицы *A* и *B* составлены по имеющимся данным, полученным во время проведения нами идентификационных работ в шахте каменного угля Верхнесилезского угольного бассейна. В связи с ограниченным объёмом данной статьи и некоторыми другими соображениями, мы не будем здесь оговаривать, каким образом получены элементы обеих матриц. Без сомнения, это очень важный и интересный вопрос, так как показывает ход логических рассуждений при составлении сценария описанной игры и развития задач по принятию решений в проблеме планирования ресурсов для конкретной угольной шахты. Итак, нами были получены следующие матрицы:

$$A=\begin{bmatrix}1 & 2 & 3\\ 2 & 4 & 1\end{bmatrix},\quad B=\begin{bmatrix}-2 & 2 & 0\\ 4 & 3 & 2\end{bmatrix}.$$

В обеих матрицах полученные числа обозначают условную величину расходов применяя ту или иную стратегию планирования обеими игроками. По формуле (2) находим, что пара стратегий (1,1) является оптимальными стратегиями Штаккельберга для обеих игроков, а соответствующее этой паре стратегий расходы (1, -2) является решением игры Штаккельберга.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе проведены детальные исследования проблемы принятия решений в задачах планирования и управления материальными ресурсами горнодобывающего предприятия. Рассмотрены вопросы построения оптимизационной модели принятия решений. Обоснована теоретико-игровая модель решения этой проблемы в качестве иерархической двулицевой стратегической игры Штаккельберга. Приведён пример нахождения оптимальных стратегий для обоих игроков участвующих в этой игре. С одной стороны игроком является государственный закон по заказам и его положения обязывающие всех частных и государственных субъектов, участников промышленной деятельности (в данном случае игры). Игрок этот, без всякого сомнения, является ведущим. Положения государственного закона по заказам неоспоримы! С другой стороны игроком является горное предприятие. Этот игрок является ведомым, так как он безусловно подчиняется решениям ведущего игрока. Отсюда предложенная и описанная нами двулицевая иерархическая игра.

Предложенная нами теоретико-игровая модель принятия решений по планированию и управлению ресурсами горнодобывающего предприятия проста и компактна. Модель учитывает множество реальных ситуаций имеющих место в решении поставленной задачи на предприятии на стратегическом уровне.

Необходимо, однако, заметить, что точность решения поставленной задачи во многом зависит от способа проведения идентификации производственного процесса, характеризующего данное горное предприятие. Впоследствии, это ведёт к определённому сценарию решающей ситуации – более или менее точно описывающему производственную деятельность горного предприятия по финансовым и производственным показателям. Необходимо также чётко определить, чем являются элементы обеих матриц в игре и как их находить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Kałuski J. *Teoria Gier*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002.

[2] Kowalik S. *Wykorzystanie teorii gier do podejmowania decyzji w górnictwie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997.

[3] Osborne J.M. *An introduction to Game Theory*. Oxford University Press, New York, Oxford, 2004.

[4] Owen G. *Game Theory*. Third Edition. Academic Press. 1995.

[5] Straffin P.D. *Teoria Gier*. Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa, 2001.

Ян Калуски *родился в Черткове в 1941 году. В 1957 вместе с семьей репатриировался в Польшу. С 1964 по 1968 год учился и закончил Ленинградский Институт Точной Механики и Оптики по специальности измерительные приборы. С 1968 по сегодняшний день работает в Силезском Политехническом Институте, сначала как ассистент, потом адъюнкт, а с 1993 по сегодняшний день в качестве профессора. В 1976 году получил научную степень кандидата (пол. доктор) технических наук, а 1986 года научную степень доктора технических наук (пол. доктор хабилитированный). Преподаёт: теорию вероятностей и мат. статистику, теорию надёжности, массовое обслуживание, теорию игр, исследование операций.*

По этим же вопросам занимается научной деятельностью плюс квантовая теория игр.

computing@computingonline.net
www.computingonline.net

ISSN 1727-6209
International Journal of Computing

GAME-THEORETICAL MODEL APPLICATION'S TO PLANNING AND CONTROLLING OF THE MATERIAL RESOURCES IN MINE INDUSTRY

Jan Kałuski

Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
jan.kaluski@polsl.pl

Abstract: *The game-theoretical approach to the planning and management of materials needed for the mining enterprise is presented. The hierarchical two-person game with non-zero-sum was developed and justified. For the pure strategies of two persons-players (a government and its laws from one side, and a mining enterprise from another side) a game – decision was selected in a form of the Stackelberg optimal strategies. A scenario of the proposed game has been verified on the example of real data from the coal mine.*

Keywords: *real game theory, scenario, optimal strategies, mathematical modelling, planning and management, mining enterprise.*

The planning and management of materials needs is an urgent problem per each modern enterprise. Among existing models and methods of the resources optimal planning the multicriterion optimization possesses a prime position. Since they are complex and laborious their implementation is reasonable mostly in the tactical or operative levels of the enterprise planning.

Mining enterprises, and coal mines in particular are so specific and therefore mathematical modelling and decision making are not enough investigated there. In the same time there are some attempts to push this problem, for example C. Kowalik [1] described an idea of game theory using in the mining enterprises.

The goal of this work is a background and introduction of the game-theoretical approach in the planning and management of material needs at the mining enterprise on the strategic level. For this purpose we proposed a scenario of the appropriate game and developed a mathematical model of decision making which are described below.

A procedure of a government work plays a primary role in the resources planning of the mining enterprise. A number of government works for a selected material is limited(this is time limits in most cases) by a state law that limits the enterprise manoeuvrability and obligates to the resources optimal planning within manufacturing process. Taking into account time limits above and the existing practice in the mining industry we should propose the following three strategies-actions: (i) unitary full order of necessary material for a term up to one year for example, (ii) a total predicted quantity of a needed material is divided on equal parts(portions) depending on a max quantity of terms order running,(iii)a periodic or even random order of the material definite quantity based on a permanent monitoring of existing resources. In consideration of the game-theoretical approach [2,3] those strategies above are a base for a definite scenario of decision making on the strategic planning of required resources in the mining enterprise. We should introduce here a scenario of the hierarchical two-person non-zero-sum game[4]. For the formulated pure strategies of two players- a government and its laws from one side, a player G1(leader), and a mining enterprise from another side, player G2 (follower)-a game decision was accepted in a form of the Stackelberg optimal strategies.

The proposed game should be described as s bimatrix with the *[mxn]* dimension:

$$[(a_{ij}, b_{ij})] = \begin{bmatrix} (a_{11}, b_{11}) & (a_{12}, b_{12}) & ... & (a_{1n}, b_{1n}) \\ (a_{21}, b_{21}) & (a_{22}, b_{22}) & ... & (a_{2n}, b_{2n}) \\ (a_{i1}, b_{i1}) & ... & (a_{ij}, b_{ij}) & (a_{in}, b_{in}) \\ (a_{m1}, b_{m1}) & ... & ... & (a_{mn}, b_{mn}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

During the game a leader G_1 selects the *i*-row from $i = 1,2,...,m$ as his pure strategy (elements a_{ij}). A follower G_2 selects the j-*th* column, $j = k(i)$ from $j = 1,2,...,n$ for which the following inequality $b_{ik} \le k(i)$ has to be satisfied. Marking the set of all pure strategies *k(i)* by $R(i)$ we can obtain the Stackelberg equilibrium strategy i_0 for a leader G_1 from the following formula:

$$\max_{j \in R(i_0)} a_{i_0 j} = \min_i \max_{j \in R(i)} a_{ij} = S*(A) \quad (2)$$

where $S^*(A)$ is the Stackelberg cost. For a follower G_2 his Stackelberg's optimal strategy will be $j_0 \in R(i_0)$.

REFERENCES

[1] Kowalik S. *Application of the game theory to decision making in mine industry*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997. (in Polish).

[2] Osborne J.M. *An introduction to Game Theory*. Oxford University Press, New York, Oxford, 2004.

[3] Owen G. *Game Theory*. Third Edition. Academic Press. 1995.

[4] Kałuski J. *Game Theory*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002. (in Polish).