

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ УЧАСТИЯ В АУКЦИОННЫХ ТОРГАХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

К. О. Хиневич, А. В. Капусто

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены вопросы построения математической модели задачи принятия решения по определению оптимальной стратегии участия предприятия в аукционных торгах. В постановке задачи учтен ряд определяющих факторов – ассортимент, производственные мощности предприятия, выручка, запасы и обязательства по заключенным договорам, ожидаемый спрос и перспективы торгов, представляющих экономический интерес. Модель формализуется статистической игрой. К обоснованию выбора оптимальной стратегии привлекается ряд известных статистических критериев, учитывающих степень информированности активного игрока о возможных сценариях развития событий.

Ключевые слова: задача принятия решений; математическая модель; статистическая игра; стратегия; критерий.

MODELING OF THE OPTIMAL STRATEGY FOR PARTICIPATION IN AUCTIONS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

K. O. Khinevich, A. V. Kapusto

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

The paper considers the issues of constructing a mathematical model of the decision-making problem to determine the optimal strategy for the participation of an enterprise in auctions. The task statement takes into account a number of determining factors – assortment, production capacity of the enterprise, revenue, stocks and obligations under concluded contracts, expected demand and prospects for bidding of economic interest. The model is formalized by a statistical game. To justify the choice of the optimal strategy, a number of well-known statistical criteria are involved, taking into account the degree of awareness of the active player about possible scenarios of the development of events.

Keywords: decision-making problem; mathematical model; statistical game; strategy; criterion.

Потребность в принятии решений характерна для реальной повседневной жизни, как отдельного человека, так и фирмы или предприятия. Масштаб последствий от результата действий может быть как весьма ощутимым, так и ничтожным. Все определяется уровнем значимости

возникшей проблемы, ситуации или производственной задачи. В ряде случаев, от своевременно принятого управленческого решения зависит не только одномоментный экономический эффект, но и стабильность развития предприятия или целой отрасли производства. Поэтому вопросы анализа возможных вариантов и обоснования выбора управленческого решения выделены в отдельную область исследований – теорию принятия решений (ТПР). Объектом исследования в ТПР являются проблемные ситуации – задачи принятия решений (ЗПР).

Решение ЗПР состоит в формировании стратегий поведения, которые обеспечат разрешение проблемной ситуации при существующих условиях, и определении среди возможных стратегий одной лучшей (оптимальной) или нескольких стратегий, удовлетворяющих всем сопутствующим ситуации ограничениям. Следует отметить, что в роли субъекта, определяющего вариант развития и разрешения возникшей проблемной ситуации, выступает лицо, принимающее решение (ЛПР). Для формирования совокупности возможных стратегий поведения ЛПР и обоснования оптимального выбора в ряде случаев можно применить аппарат экономико-математического моделирования.

В случае постановки ЗПР в условиях неопределенности широкое применение в моделировании получил теоретико-игровой подход. В данной ситуации математическая модель ЗПР представляется статистической игрой (игрой с природой). В этой игре сознательно действует только один из участников – активный игрок (ЛПР). Второй игрок (пассивный игрок или «Природа») характеризует некую объективную действительность и не предпринимает никаких целенаправленных действий против активного игрока [1].

Математическая формализация проблемной ситуации в данном случае предполагает определение активного и пассивного игроков и последующее формирование совокупности стратегий ЛПР и множества сценариев развития ситуации с позиции природы. Остановимся на вопросе построения статистической игры для предприятия в случае реализации его продукции через аукционные торги. В частности, в Республике Беларусь продажа медицинских изделий в государственные учреждения здравоохранения осуществляется только через аукцион или тендер, согласно Постановлению Министерства здравоохранения Республики Беларусь 09.06.2021 № 78.

Поэтому рассмотрим постановку ЗПР для предприятия, осуществляющего выпуск медицинских изделий.

Предприятие выпускает R видов медицинских изделий и реализует их через участие в аукционных торгах. После подачи заявки на участие в

аукционе для предприятия-производителя возможны три варианта развития событий:

- 1) аукцион выигран, договор заключен, продукция продана;
- 2) аукцион проигран, продукция не продана, осталась лежать на складе до следующего аукциона;
- 3) аукцион выигран, но готовой продукции недостаточно.

Последний вариант развития событий является самым неблагоприятным для предприятия. При нехватке продукции производитель должен либо найти сырье и обеспечить выпуск недостающей продукции, либо заплатить штраф согласно договору. В этом случае производитель будет добавлен в черный список как недобросовестный поставщик и другие подрядчики остановят с ним сотрудничество на 1 – 2 года.

Согласно правилам ведения торгов, после заключения договора с заказчиком, у производителя есть 60 календарных дней на выполнение заказа. Исходя из этого, прежде чем принять участие в аукционных торгах, ЛПР (заместитель директора по коммерческим вопросам) должен оценить запасы продукции на начало рассматриваемого периода и, уже исходя из этих данных, решить, возможно ли участие в аукционе. Мониторинг аукционов проходит через сайт государственных закупок, где заказчик предоставляет все необходимые требования для участия в аукционе: запрашиваемое количество медицинских изделий, вид, цена. Для определения возможности участия в торгах, ЛПР должен убедиться, что он сможет удовлетворить всем требованиям: есть ли возможность произвести нужное количество изделий; если заказ большой – есть ли необходимый запас на складе; есть ли обязательства по ранее заключенным договорам, которые нужно выполнить в ближайшие 2 месяца.

Представим исходные данные на начало периода планирования таблицей 1.

Таблица 1

Исходные данные по всем видам выпускаемой продукции на начало периода

Вид изделия	Запас на складе	Обязательства по ранее заключенным договорам	Объем производства за месяц	Наличие на складе к концу второго месяца	Средняя цена 1 ед. продукции
МИ ₁	Z ₁	D ₁	W ₁	V ₁	P ₁
МИ ₂	Z ₂	D ₂	W ₂	V ₂	P ₂
...
МИ _R	Z _R	D _R	W _R	V _R	P _R

Примечание. Здесь и далее все таблицы – собственная разработка авторов.

Следует учесть, что у предприятия есть постоянные заказчики, которые оповещают о предстоящих торгах. Зачастую они предупреждают о том, что в определенный момент им потребуется большое количество продукции. Поэтому производителю целесообразно заранее откладывать произведенные медицинские изделия на склад для дальнейшего участия в предстоящих аукционных торгах по заявке постоянного клиента. Выигрыш в таком аукционе экономически более выгоден для предприятия, чем участие в разовых мелких сделках. В связи с этим введем коэффициенты k_{ir} , которые означают доступность изделий $МИ_r$ ($r = \overline{1, R}$) для участия в аукционных торгах с горизонтом планирования 2 месяца при выборе ЛПР стратегии i ($i = \overline{1, m}$), таблица 2.

Таблица 2

Матрица коэффициентов доступности изделия для участия в торгах

Стратегия	Вид изделия			
	МИ ₁	МИ ₂	...	МИ _R
A_1	k_{11}	k_{12}	...	k_{1R}
A_2	k_{21}	k_{22}	...	k_{2R}
...
A_m	k_{m1}	k_{m2}	...	k_{mR}

Исходя из информированности о предстоящих аукционных торгах с потребностью в большой партии продукции, ЛПР может начать заранее готовить запас на складе. Поэтому значение коэффициента доступности $k_{ir} \in [0,1]$, где $k_{ir} = 0$ означает, что ЛПР не участвует в текущем периоде в аукционных торгах с изделиями $МИ_r$, и все изделия этого вида идут на склад; $k_{ir} = 1$ означает, что ЛПР не делает ограничений по возможному участию в аукционных торгах с изделиями $МИ_r$ в объеме наличия на складе к концу второго месяца от начала планового периода.

Таким образом, ЛПР разрабатывает со своей стороны n стратегий участия в торгах ориентируясь на доступные объемы изделий (запасы или обязательства и произведенная за 2 месяца продукция).

Состояния внешней среды (природы) в данном случае представляют собой варианты совокупного спроса C_j ($j = \overline{1, n}$) по разным видам изделий с условием возможной победы в аукционных торгах, таблица 3. Другими словами, имеем состоявшийся или результативный спрос.

Таким образом, платежная матрица статистической игры будет иметь размерность $m \times n$, где m – число возможных стратегий ЛПР, n – количество состояний совокупного спроса.

Матрица спроса на изделия с учетом победы в торгах

Состояние природы	Вид изделия			
	МИ ₁	МИ ₂	...	МИ _R
C ₁	S ₁₁	S ₁₂	...	S _{1R}
C ₂	S ₂₁	S ₂₂	...	S _{2R}
...
C _n	S _{n1}	S _{n2}	...	S _{nR}

Элементы платежной матрицы определяются по формуле:

$$h_{ij} = \sum_{r=1}^R \begin{cases} k_{ir} V_r P_r, & \text{если } k_{ir} V \leq S_{jr}, \\ S_{jr} P_r & \text{если } k_{ir} V > S_{jr}, \end{cases}$$

где

$$V_r = \begin{cases} 2W_r, & \text{если } Z_r = D_r = 0, \\ Z_r + 2W_r, & \text{если } Z_r > D_r = 0, \\ 2W_r - D_r, & \text{если } D_r > Z_r = 0. \end{cases}$$

В общем случае, методы принятия решений в статистических играх зависят от характера неопределенности, точнее от того, известны или нет вероятности возможных состояний (стратегий) природы. В случае, когда вероятности наступления того или иного состояния среды известны, неопределенность называется частичной, в обратном же случае – полной неопределенностью [1].

С использованием разработанной математической модели ЗПР на основании данных статистической отчетности одного из действующих на фармацевтическом рынке страны предприятий была построена статистическая игра и определена оптимальная стратегия для ЛПР. Для проверки работоспособности модели были разработаны 3 стратегии ЛПР и 3 возможных состояния спроса. А именно, были рассмотрены 4 вида медицинских изделий (шприцы, губки, иглы-бабочки и магистраль), для этих изделий установлена средняя цена 1 единицы продукции, объемы производства за месяц, результативность участия в торгах на протяжении года (помесячно). Кроме того, были определены (условно) запасы продукции и обязательства по состоявшимся торгам на начало планового периода, а также введена в рассмотрение матрица коэффициентов до-

ступности изделий по результатам анализа возможностей и обязательств, таблица 4. Оценка результативности участия в торгах была использована для определения возможных состояний совокупного спроса.

Таблица 4

Матрица коэффициентов доступности изделий по результатам анализа

Стратегия	Вид изделия			
	МИ ₁	МИ ₂	МИ ₃	МИ ₄
A ₁	0,6	1	0,8	0,9
A ₂	1	0,8	0,6	0,7
A ₃	0,7	0,5	1,	0,8

Результаты расчетов элементов платежной матрицы (выручка от продаж, руб.) представлены в таблице 5.

Таблица 5

Платежная матрица статистической игры участия в торгах

Стратегия	Состояние совокупного спроса		
	C ₁	C ₁	C ₃
A ₁	60695,25	107004,9	225977,1
A ₂	68345,25	122304,9	177335,1
A ₃	64520,25	110829,9	205452,1

Заметим, что платежная матрица игры не содержит доминируемых стратегий, поэтому при выборе оптимальной стратегии участия в торгах были рассмотрены все первоначальные варианты. Решение задачи получено как в условиях полной неопределенности (таблица 6), так и в условиях частичной неопределенности. Анализ совокупности стратегий ЛПП был выполнен с использованием критериев крайнего оптимизма и пессимизма, Лапласа, Сэвиджа [1,2].

Таблица 6

Расчетные значения применения критериев (полная неопределенность)

Стратегия	Критерии			
	крайнего оптимизма	крайнего пессимизма	Лапласа	Сэвиджа
A ₁	225977,1	60695,25	131225,8	15300
A ₂	177335,1	68345,25	122661,8	48642
A ₃	205452,1	64520,25	126934,1	20525
Оптимальная стратегия	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂

Таким образом, в случае полной неопределенности, результаты применения статистических критериев позволяют сделать вывод, что стратегии A_1 и A_2 являются предпочтительными, причем стратегия A_1 может стать выбором ЛПР при склонности к оптимизму или ориентации на среднее значение выручки, а стратегия A_2 – при осторожном выборе и желании минимизировать риск в состоянии неопределенности.

Для обоснования выбора оптимальной стратегии участия в торгах с использованием критерия Байеса (таблица 7) были построены три прогноза по распределению вероятностей для совокупности состояний спроса.

Таблица 7

Расчетные значения критерия Байеса для трех вариантов прогноза

Стратегия	Вероятностное распределение совокупного спроса		
	Прогноз 1	Прогноз 2	Прогноз 3
A_1	169126,3	121537,4	103013,6
A_2	144531,1	122519	100935,2
A_3	158341,3	120492,4	101968,6
Оптимальная стратегия	A_1	A_1	A_1

Таким образом, в случае частичной неопределенности, результаты применения критерия Байеса позволяют отдать предпочтение выбору стратегии A_1 .

Результаты исследования продемонстрировали возможность приложения математического моделирования к решению задачи определения оптимальной стратегии для организации производства продукции и участия в аукционных торгах. Предложенная постановка задачи и подход к построению статистической игры могут быть использованы на любом производстве, предполагающем выполнение обязательств по заключенным сделкам, регулируемое производство продукции и планирование участия в аукционных торгах.

Библиографические ссылки

1. *Капусто А.В.* Игровое моделирование в задачах принятия решений // Тенденции экономического развития в XXI веке: материалы IV Междунар. науч. конф., Минск, 1 марта 2022 г., Белорус. гос. ун-т – Минск : БГУ, 2021, С. 178 – 180.
2. *Розен В. В.* Математические модели принятия решений в экономике: учебное пособие / В. В. Розен, Л. В. Бессонов. – Высшая школа : Книжный дом "Университет", 2008. – 399 с.