

Теоретико-игровая модель управления в системе реализации металлопроката

О.И. Горбанева, И.И. Князев

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье построена иерархическая игра в двухуровневой системе реализации продукции металлопроката, в которой найдены равновесия по Штакельбергу для вертикально связанных участников и равновесия по Нэшу для горизонтальных участников. Система состоит из нескольких производителей продукции на верхнем уровне, нескольких дилеров на нижнем уровне и их клиентов. Производитель получает доход от продаж оптового количества изделий дилерам. Организация-дилер получает доход от реализации металлических изделий, которые покупает у производителя. Учитывается влияние погодных и социальных факторов на спрос на продукцию. Предлагается алгоритм последовательного согласования сделок между конкретным дилером и конкретным поставщиком.

Ключевые слова: согласование интересов, система реализации металлопроката, влияние факторов на спрос, перевозчики, производитель продукции металлопроката, дилер продукции металлопроката.

Введение

В статье описывается построение теоретико-игровой модели системы реализации продукции металлопроката, состоящей из нескольких производителей продукции, нескольких дилеров как посредников и их клиентов. Производитель получает доход от продаж оптового количества изделий дилерам. Организация-дилер получает доход от реализации металлических изделий, которые покупает у производителя. Спрос покупателей на продукцию данной организации зависит от многих факторов, таких как погодные условия, экономическая и социальная ситуация. В статье построена двухуровневая модель в виде иерархической игры, представленной в разностной форме. Найдено равновесие по Штакельбергу [1] среди иерархически связанных участников системы (производители и дилеры), а также равновесия по Нэшу [2] среди равноправных участников системы (только среди производителей, либо только среди дилеров). Предлагается алгоритм последовательного согласования сделок между

конкретным дилером и конкретным поставщиком. Найдено условие, при котором заявка каждого дилера будет обработана поставщиком.

Обзор литературы

Впервые математическое моделирование было применено к задачам, связанным с системой металлопроката в [2], в которой проанализированы методов оптимизации затрат на производство продукции системы металлопроката. В [3] описано применение метода FMEA, в [4] описано применение казуальных графовых методов. В [5, 6] описан метод когнитивного моделирования для задачи изготовления и продажи изделий металлопроката. В [7-9] описан опыт построения экспертных систем, связанных с некоторым сложными структурами, включая систему металлопроката. В [10] для решения задачи управлением реализацией металлопроката построена и исследована когнитивная карта.

Теоретико-игровая модель

Пусть имеется несколько организаций-дилеров, которые реализует продукцию металлопроката, закупая ее у поставщиков и доставляя при помощи перевозчиков либо к себе на склад, либо сразу напрямую к заказчику. Для дилера предпочтительнее, если в момент поступления заказа от клиента имеющийся товар имеется в наличии на складе. В противном случае, чтобы не потерять заказ, фирма должна организовать в счет дополнительных средств закупку товара у поставщика и перевозку его клиенту. Но спрос далеко не постоянен и зависит от некоторых факторов, в том числе от сезона, от погодных условий, от социально-экономических условий, сложившихся на данный момент в регионе, поэтому тяжело предсказать, сколько продукции и в какие моменты времени закупать на склад. Поставщики, в свою очередь, устанавливают цены на продукцию, в том числе назначая скидки дилерам.

Итак, система состоит из:

- 1) Производителей – организаций, занимающихся производством изделий металлопроката. Они же являются поставщиками для дилеров.
- 2) Дилеров – организаций, скупающих у производителей по оптовым ценам продукцию металлопроката и реализующих ее в розницу клиентам.
- 3) Клиентов – производственных и строительных организаций, а также частных лиц, покупающих у дилеров продукцию металлопроката и использующие ее для строительства.

Данные типы участников образуют иерархическую систему, состоящую из трех уровней. На верхнем уровне рассматриваемой находятся производители, на среднем уровне – дилеры, на нижнем – клиенты.

Производители устанавливают розничные цены и размеры оптовых скидок и сообщают их дилерам. Дилеры, учитывая такого рода информацию, выбирают производителя, у которого закупать продукцию, а также определяют, когда и сколько продукции закупать с целью пополнения склада. При обращении клиента к дилеру последний сообщает ему цену на продукцию с его наценкой.

Пусть в системе имеется n производителей, m дилеров и k клиентов. Обозначим $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество всех производителей, $M = \{1, 2, \dots, m\}$ – множество всех дилеров, $K = \{1, 2, \dots, k\}$ – множество всех клиентов продукции металлопроката. Составим математическую модель, которая представляет собой динамическую иерархическую дискретную игру.

Итак, математическая модель имеет следующий вид:

а) Задача производителя

$$g_i^P = \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j \in M_{i1}(t)} s_{1i}(1 - sk_{ij}) \cdot n_{j1}(t) + \sum_{j \in M_{i2}(t)} s_{1i} n_{j2}(t) \right) \rightarrow \max_{M_{1i}(t), M_{2i}(t), sk_{ij}}, \quad (1)$$

$$M_{i1}(t) \subseteq M, M_{i2}(t) \subseteq M, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in M_{i1}(t)} n_{j1}(t) + \sum_{j \in M_{i2}(t)} n_{j2}(t) \leq N_i. \quad (3)$$

$$0 \leq sk_{ij} \leq 1. \quad (4)$$

б) Задача дилера

$$g_j^D = \sum_{t=1}^T v_{1j}(t) \rightarrow \max_{n_{j1}(t), n_{j2}(t)}, \quad (5)$$

$$v_{1j}(t) = \begin{cases} v_{1j}(t-1) - n_{j1}(t)s_{ij}(t) + a_j(t)v_{3j}(t), & v_{3j}(t) < v_{0j}(t-1) + n_{j1}(t) \\ v_{1j}(t-1) - n_{j1}(t)s_{ij}(t) + a_j(t)v_{0j}(t-1) + \\ + (a_j(t) - s_{1i}(t) - s_2(t))n_{j2}(t) & , \quad v_{3j}(t) > v_{0j}(t-1) + n_{j1}(t). \end{cases} \quad (6)$$

$$v_{0j}(t) = \begin{cases} v_{0j}(t-1) + n_{j1}(t) - v_{3j}(t), & v_{3j}(t) < v_{0j}(t-1) + n_{j1}(t) \\ 0, & v_{3j}(t) > v_{0j}(t-1) + n_{j1}(t). \end{cases} \quad (7)$$

$$0 \leq n_{j1}(t) \leq V_j - v_{0j}(t), \quad (8)$$

$$n_{j1}(t) \leq v_{1j}(t)/s_{ij}, \quad (9)$$

в) прочие уравнения динамики

$$s_{1i}(v_2(t)) = s_{1i} \cdot v_2(t)/v_2(0), \quad (10)$$

$$s_2(v_4(t)) = s_2 \cdot v_4(t)/v_4(0), \quad (11)$$

$$a_j(v_{3j}(t)) = a_j \cdot v_{3j}(t)/v_{3j}(0). \quad (12)$$

$$s_{ij}(v_2(t), v_4(t)) = s_{i1} \cdot v_2(t)/v_2(0) \cdot (1 - sk_{1ij}) + s_2 \cdot v_4(t)/v_4(0) \cdot (1 - sk_2), \quad (13)$$

$$v_{3j}(t) = v_{3j}(0) \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^{2-|2-t \bmod 4|} \cdot \left(1 + \operatorname{sgn}(k_1(t)) \cdot \frac{1}{3}\right)^{|k_1(t)|}, \quad (14)$$

$$v_2(t) = v_2(0) \cdot \left(\frac{4}{3}\right)^{2-|2-t \bmod 4|} \cdot \left(1 + \operatorname{sgn}(k_1(t)) \cdot \frac{1}{3}\right)^{|k_1(t)|}, \quad (15)$$

$$v_4(t) = v_4(0) \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right)^{t \bmod 4} \cdot \left(1 + \operatorname{sgn}(k_1(t)) \cdot 0,1\right)^{|k_1(t)|}. \quad (16)$$

где $v_2(t)$ – значение спроса в целом на продукцию металлопроката в момент времени t , $v_{3j}(t)$ – спрос на продукцию j -го дилера в момент времени t , $v_4(t)$

-значение совокупного спроса на услуги перевозчиков в момент времени t , $k_1(t)$ – сумма знаков всех социально-экономических факторов, возникших в момент времени t , s_{1i} – цена срочно закупленного дилером j у поставщика i изделия в начальный момент времени, а s_2 – цена перевозки срочно закупленного изделия в начальный момент времени, sk_{1ij} и sk_2 – скидки на оптовые или плановые закупки и перевозки, s_{ij} – цена с учетом скидок от перевозчика и производителя i дилеру j , a_j – цена на продукцию изделий металлопроката дилера j в начальный момент времени, $v_{0j}(t)$ – количество продукции на складе j -го дилера на начало момента времени t , $v_{1j}(t)$ – количество финансов j -го дилера на начало момента времени t , N_i – производственные ограничения производителя i , V_j – вместимость склада j -го дилера, $n_{j1}(t)$ – количество продукции металлопроката, закупаемая у какого-либо производителя в момент времени t по плановым ценам, $n_{j2}(t)$ – количество продукции металлопроката, закупаемая у какого-либо поставщика в момент времени t по срочным ценам, $M_{i1}(t)$ – множество тех дилеров, которым в момент времени t производителю i выгодно продать продукцию по плановым ценам, $M_{i2}(t)$ – множество тех дилеров, которым в момент времени t производителю i выгодно продать продукцию по срочным ценам.

Построенная модель (1)-(16) представляет собой иерархическую дискретную игру $(n+m)$ лица. Стратегиями производителей является выбор дилеров $M_{i1}(t)$ и $M_{i2}(t)$, которым продавать продукцию в каждый момент времени по плановым и срочным ценам соответственно, а также цены на продукцию s_{1i} и скидки sk_{1ij} для дилеров. Стратегиями дилеров является определения количества закупаемой продукции по срочным ценам $n_{j1}(t)$ и плановым ценам $n_{j2}(t)$ в каждый момент времени.

Производитель i в каждый момент времени выбирает множества дилеров $M_{i1}(t) \subseteq M$ и $M_{i2}(t) \subseteq M$, кому продает свою продукцию по плановым и срочным ценам соответственно согласно запросу последних. Но скидку он предлагает только тем, кто планомерно покупает продукцию. Если при этом цена s_{ij} у поставщика i с учетом скидки минимальная для дилера j , т.е. $i = \text{Arg} \min_{k=1, \dots, n} s_{kj}$, то дилер j покупает продукцию именно у производителя i . Но то же самое происходит и при срочной продаже. Производитель предлагает дилеру из множества $M_{i1}(t)$ перекупить товар без скидки по цене s_{1i} , но дилер купит у него товар, если именно у него цена без скидки окажется минимальной, т.е. если $i = \text{Arg} \min_{k=1, \dots, n} s_{1k}$.

Взаимодействие производителей и дилеров происходит следующим образом:

1) В каждый момент времени дилер подает заявку на тендер производителям с нужным ему количеством товара. Он покупает товар для двух целей: удовлетворить спрос клиентов и пополнить свой склад. Дилер решает, какое количество товаров $n_{j1}(t)$ нужно закупить для пополнения склада в плановом порядке, а какое количество $n_{j2}(t)$ нужно купить в срочном порядке для удовлетворения нужд клиентов в данный момент времени.

2) Производители по требуемому срочному количеству товара предлагают выгодному дилеру купить его по цене $s_{1i}(t)$ или отказывают ему в продаже, если дилер невыгоден. Производители по требуемому плановому количеству товара предлагают выгодному дилеру купить его по цене $s_{ij}(t)$ с учетом скидки или отказывают ему в продаже, если дилер невыгоден.

3) Среди всех производителей, предложивших товар по срочным ценам, дилер выбирает того, у кого цены $s_{1i}(t)$ минимальны. Среди всех производителей, предложивших товар по плановым ценам, дилер выбирает того, у кого цены $s_{ij}(t)$ минимальны.

То есть, и производитель, и дилер выбирают друг друга. Дилер выбирает одного производителя, в то время как производитель может выбрать несколько дилеров. Причем дилер выбирает по цене: среди всех производителей, кто откликнулся на его предложение, он выберет того, кто предложил товар по минимальной цене. В случае производителя ситуация сложнее. Он выбирает, кому из дилеров нужно сделать предложение. Производителю нужно продать как можно большее количество товара, для этого ему нужно найти такую совокупность дилеров, которые в совокупности своей приобретут наибольшее количество товара, которое позволяет произвести его производственная мощность. Но чтобы эти дилеры купили товар именно у него, ему нужно предоставить им такую скидку, чтобы цена на товар была меньше, чем у других производителей, которые также выбрали этих дилеров в качестве клиентов.

В данном случае производитель рискует больше, чем дилер. Дилер среди всех возможных вариантов просто выберет вариант с минимальной ценой. А вот у производителя последствий от неправильно сделанного выбора больше. Во-первых, он может включить дилера во множества $M_{i1}(t)$ и/или $M_{i2}(t)$. Но если предложенная поставщиком цена не минимальна, то дилер откажется покупать у него продукцию. А в этом случае, лучше бы производитель изначально включил в множества $M_{i1}(t)$ и/или $M_{i2}(t)$ вместо этого дилера другого. Во-вторых, он может включить во множества $M_{i1}(t)$ и/или $M_{i2}(t)$ нескольких дилеров, предложив им минимальную цену $s_{ij}(t)$. Но дилера с небольшим количеством он мог не включить. В результате дилеры с изначально большим запрашиваемым количеством продукции могут значительно их уменьшить, и нераспроданного товара может остаться больше, чем нужды того дилера, которого производитель не включил в свое множество и который уже купил продукцию у других производителей. В построенной игре (1)-(16) требуется найти равновесие по Штакельбергу.

Среди же самих производителей, так же, как и среди дилеров возникает задача равноправных агентов с конфликтом интересов. Конфликт интересов у производителей заключается в борьбе за дилеров, которые приобретают большие количества изделий продукции металлопроката. Конфликт интересов у дилеров заключается в борьбе за производителей, которые предлагают низкие цены. В соответствующих играх равноправных участников находится равновесие по Нэшу.

Производители делятся на две группы:

1) производители, которые не имеют крытых складов. Такие производители вынуждены продавать сразу же после производства, так как товар хранить долго нельзя. В силу погодных условий и отсутствия защиты от них товар не останется на складе в надлежащем качестве до следующего периода. В этом случае производители в каждый момент времени при выборе дилеров, которым продают продукцию, руководствуется условием

$$\sum_{j \in M_{i1}(t)} n_{j1}(t) + \sum_{j \in M_{i2}(t)} n_{j2}(t) \leq N_i,$$

где N_i – производственные возможности предприятия-производителя.

2) производители, которые имеют крытые склады. Такие производители могут хранить нераспроданный товар длительное время и то, что не продано в текущем периоде, продавать в следующем периоде. В этом случае, так же, как и в предыдущем, производители в каждый момент времени при выборе дилеров, которым продают продукцию, руководствуется условием

$$\sum_{j \in M_{i1}(t)} n_{j1}(t) + \sum_{j \in M_{i2}(t)} n_{j2}(t) \leq K_i(t),$$

где количество имеющегося товара на складе i -го производителя равно:

$$K_i(t) = K_i(t - 1) + N_i - \sum_{j \in M_{i1}(t-1)} n_j(t - 1) - \sum_{j \in M_{i2}(t-1)} n_{j2}(t - 1).$$

Количество имеющегося товара на складе i -го производителя в момент времени t равно тому, что осталось в прошлый момент времени после продажи дилерам плюс то, что удалось произвести в момент времени t .

В случае нахождения равновесия по Штакельбергу в общем случае (во все моменты времени), необходимо сначала найти оптимальную стратегию нижнего уровня (в данном случае, дилера) как оптимальную реакцию на стратегию верхнего уровня (в данном случае, производителя). Дилер j в ответ на ценовую политику поставщиков определяет:

- 1) оптимальные планы закупок по плановым $n_{j1}(t)$ и срочным $n_{j2}(t)$ ценам на все моменты времени;
- 2) производителя i , у которого покупать продукцию.

Алгоритм подбора оптимального плана закупок дилера

Для того чтобы определить оптимальный план закупок по плановым $n_{1j}(t)$ и срочным $n_{2j}(t)$ ценам, максимизирующий финансы дилера в конечный момент времени, нужно отследить моменты с повышением и понижением плановых и срочных цен, которые заранее можно спрогнозировать по приведенным выше формулам на весь период.

В последний момент времени не нужно ничего докупать, если на складе достаточно товара для удовлетворения спроса покупателей. Если же товара на складе не хватает, то нужно докупить только недостающее количество.

В каждый момент времени, кроме последнего, следует посмотреть плановые и срочные цены текущую и последующие. Если текущая плановая цена минимальна на весь планируемый период, то в данный момент времени нужно заполнить склад по максимуму. Если потребности клиентов на весь оставшийся период (которые тоже можно спрогнозировать на весь предстоящий период) превышают возможности склада, то нужно заполнить

склад полностью. Если же суммарные потребности клиентов на весь оставшийся период меньше объема склада, то докупить нужно лишь необходимое для удовлетворения спроса клиентов количество, если его нет на складе. Если же на складе товара не меньше, чем требуется клиентам на весь оставшийся период, то докупать ничего не нужно.

Если плановая цена в текущий момент времени минимальна, но повторяется, то следует по возможности заполнить склад по максимуму до момента повторения этой цены. Здесь снова могут быть два случая. Если суммарные потребности клиентов от текущего момента времени до следующего момента повторения этой цены меньше, чем объем склада, то следует докупить только то количество товара, которого не хватает для удовлетворения нужд клиентов. Если же суммарные потребности клиентов от текущего момента времени до следующего момента повторения этой цены больше, чем объем склада, то следует докупить только то количество товара, которого не хватает для заполнения склада. Если же на складе товара не меньше, чем требуется клиентам до следующего момента повторения текущей цены, то докупать ничего не нужно.

Если плановая цена в следующий момент времени больше, чем в предыдущий, то закупить следует только то количество товара, которое недостает на складе для удовлетворения спроса клиентов в данный момент времени.

Если ожидаются периоды, в которых плановая цена на товар будет меньше, чем в текущий период, то если есть возможность, то запасов до этого момента времени лучше не делать, а покупать лишь недостающее в данный момент количество товара для удовлетворения спроса клиентов. Если же в моменты возрастания цены на плановое приобретение продукции цена на срочное приобретение в текущий момент времени меньше, чем цена на плановое приобретение в следующий момент времени, то удовлетворить

текущий спрос клиентов можно за счет срочного приобретения продукции, и вдобавок к этому заполнить склад по цене планового приобретения. Если же цена плановой покупки в данный период возрастает и цена срочной покупки в текущий момент больше цены плановой в последующий период, то при превышении спроса клиентов на продукцию объема склада нужно в срочном порядке докупить продукцию, требуемую для удовлетворения текущего спроса клиентов в данный момент времени.

Производителя же дилеру выгодно выбирать по минимальной цене при прочих равных условиях.

Решение задачи производителя

Учитывая найденную оптимальную реакцию дилеров на ценовую политику производителей, нужно найти оптимальную стратегию последних, которая заключается в:

1) выборе дилеров, которым наиболее выгодно продавать продукцию по плановым и срочным ценам, множества $M_{i1}(t)$ и $M_{i2}(t)$ соответственно;

2) назначении цены $s_{1i}(0)$ на продукцию в начальный момент времени и скидок дилерам sk_{1ij} при приобретении продукции в плановом порядке.

Для выбора дилеров для производителя используется алгоритм решения известной типовой задачи о рюкзаке. Задача о рюкзаке состоит в определении предметов из заданного множества, которые следует положить в рюкзак. Каждый предмет характеризуется ценностью и объемом занимаемого места в рюкзаке. Цель – найти набор предметов максимальной суммарной ценности, которые можно уместить в рюкзак (суммарный объем которых не превышает объем рюкзака).

В данной задаче роль предметов играют дилеры, которым следует продать продукцию, роль ценности предмета играет выручка, полученная производителем в случае продажи продукции дилерам с учетом скидки, роль

объема предмета играет количество продукции, которую нужно купить дилеру (объем заявки).

После того, как при помощи модификации алгоритма решения задачи о рюкзаке для каждого производителя найдены оптимальный набор дилеров, которым надо продать продукцию, можно назначить им скидки по формуле

$$sk_{1ij} = \begin{cases} 1 - \frac{v_{1j}(t-1)}{s_{i1}(v_{3j}(T) - v_{0j}(T-1))}, & s_{i1} > v_{1j}(t-1)/(v_{3j}(T) - v_{0j}(T-1)), \\ 0, & s_{i1} \leq v_{1j}(t-1)/(v_{3j}(T) - v_{0j}(T-1)). \end{cases}$$

Остальным дилерам можно скидку не делать совсем ($sk_{1ij} = 0$).

Согласование сделки

Итак, в результате нахождения равновесия по Штакельбергу дилер выбирает производителя, а производитель выбирает дилера. И сделка состоится только в том случае, если дилер и производитель выбрали друг друга. Назовем эту ситуацию согласованием. Если производитель i выбрал дилера j , а дилер j , в свою очередь, выбрал производителя i , то они согласовали покупку дилером j у производителя i количество продукции, заявленное дилером j . Но этого может не произойти.

В этом случае и дилеру, выбранный производитель которого не выбрал его, и производителю, который выбрал дилеров, которые его не выбрали, придется изменить свой выбор. Дилеру придется выбрать другого производителя, у которого цена больше, чем у того, которого дилер выбрал изначально. Среди производителей, которые остались доступны для дилера, он снова выбирать будет по принципу минимальной цены.

Производитель же будет менять выбор выгодных ему дилеров, но не всех. Выбор в отношении тех дилеров, с кем произошло согласование сделки, производитель уже поменять не может. Но он может предложить оставшуюся у производителя продукцию (за вычетом продукции, согласованной для продажи другим дилерам) тем дилерам, у которых не

произошло согласования с другими производителями, причем предложить продукцию он снова может тем же дилерам, которым предлагал и раньше.

Итерации согласованности продаж будут происходить до тех пор, пока все агенты не договорятся с конкретным производителем. При условии, что все производители могут выполнить заявки всех дилеров

$$\sum_{i=1}^n K_i(t) \geq \sum_{j=1}^k n_{i1}(t) + \sum_{j=1}^k n_{i2}(t),$$

согласованность всех заявок дилеров произойдет за конечное число итераций. С каждой итерацией количество производителей, доступных для дилера, становится все меньше и меньше, так же как и количество дилеров, которые не смогли согласовать свои заявки, с каждой итерацией уменьшается.

Заключение

В статье построена математическая модель системы реализации металлопроката в виде иерархической игры, в которой найдено равновесие по Штакельбергу. На верхнем уровне находятся производители продукции, на нижнем уровне находятся дилеры, закупающие продукцию у производителей и реализующие клиентам. Предложен алгоритм нахождения оптимального плана закупок дилера по плановым и срочным ценам, а также процедура нахождения каждому дилеру производителя. Найдено условие, при котором существует равновесие по Штакельбергу.

Литература

1. Фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение / пер. с англ. под ред. и с доб. Н. Н. Воробьева. — Москва : Наука, 1970. — 707 с.

2. Мищенко О.В., Федорина Е.В. Разработка технологических процессов раскря металлопроката холодноштамповочного производства с

использованием прогрессивных методов математического моделирования // Известия МГТУ «МАМИ», 2014, № 1. Р. 33 – 35.

3. Подоплелова Е.С., Князев И.И. Модификация метода FMEA при помощи алгоритмов машинного обучения // Известия ЮФУ. Технические науки, 2023, №6. С. 88–95.

4. Князев И. И. Исследование методов построения каузальных графовых моделей для сложных социогуманитарных систем // Известия ЮФУ. Технические науки, 2024, №2. - С. 83-89.

5. Tselykh A., Vasilev V., Tselykh L. Assessment of influence productivity in cognitive models // Artificial Intelligence Review, 2020, №53. Р. 5383–5409. URL: doi.org/10.1007/s10462-020-09823-8.

6. Гинис Л. А. Развитие инструментария когнитивного моделирования для исследования сложных систем // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2326.

7. Tselykh A., Tselykh L., Vasilev V., Barkovskii S. Expert System with Extended Knowledge Acquisition Module for Decision Making Support. In: Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, № 680. Springer, Cham. URL: doi.org/10.1007/978-3-319-68324-9_3

8. Dağlarlı E. Explainable Artificial Intelligence Approaches and Deep Meta-Learning Models. In: Aceves-Fernandez, M.A., Ed., Advances and Applications in Deep Learning. IntechOpen, London, pp. 1-17. 2018. URL: doi.org/10.5772/intechopen.92172

9. Целигорова Е.Н. Современные информационные технологии и их использование для исследования систем автоматического управления // Инженерный вестник Дона, 2010, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/222.



10. Горбанева О.И., Князев И. И. Исследование устойчивости импульсных процессов в системе реализации металлопроката // Инженерный вестник Дона, 2024, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2024/9703.

References

1. Fon Nejman J., Morgenstern O. Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie [Game theory and economical behavior]. Per. s angl. pod red. i s dob. N. N. Vorob'eva. Moskva : Nauka, 1970. 707 p.

2. Mishhenko O.V., Fedorina E.V. Izvestija MGTU «MAMI», 2014, № 1. pp. 33 – 35.

3. Podoplelova E.S., Knjazez I.I.. Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki, 2023, №6. pp. 88–95.

4. Knjazez I. I. Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki, 2024, №2. pp. 83-89.

5. Tselykh A., Vasilev V., Tselykh L. Artificial Intelligence Review, 2020, №53. pp. 5383–5409. URL: doi.org/10.1007/s10462-020-09823-8.

6. Ginis L.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2326.

7. Tselykh, A., Tselykh, L., Vasilev, V., Barkovskii, S. Expert System with Extended Knowledge Acquisition Module for Decision Making Support. In: Proceedings of the Second International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry”, [Advances in Intelligent Systems and Computing], 2017, № 680. Springer, Cham. URL: doi.org/10.1007/978-3-319-68324-9_3

8. Dağlarlı E. Explainable Artificial Intelligence Approaches and Deep Meta-Learning Models. In: Aceves-Fernandez, M.A., Ed., [Advances and Applications in Deep Learning]. 2020, IntechOpen, London, pp. 1-17. URL: doi.org/10.5772/intechopen.92172

9. Celigorova E.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2010/222.



10. Кнжазев И. И., Горбанева О.И. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №12.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2024/9703.

Дата поступления: 7.01.2026

Дата публикации: 24.02.2026