DOI: 10.25065/1810-4894-2018-26-2-84-94

УДК 658.274; 658.71

МОДЕЛЬ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ПЕРЕВООРУЖЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

К.А. Соловейчик, В.А. Левенцов
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

Э.М. Фарбер
Открытое акционерное общество «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ»
Россия, 197376, Санкт-Петербург, наб. реки Карповки, 5

Введение. *На сегодняшний день машиностроительная промышленность Российской Федерации сталкивается с множеством проблем, отрицательно влияющих на ее развитие и конкурентоспособность. Одним из возможных и необходимых решений таких проблем является техническое перевооружение предприятий. Целью данной работы стала разработка математической модели выбора оборудования, которая позволит минимизировать усилия и время на анализ и выбор наиболее подходящего для предприятия оборудования, при проведении технического перевооружения.*
Данные и методы. *В данной работе процесс выбора оптимального оборудования представлен в виде задачи многокритериальной оптимизации. Решение задачи проводится графическим методом. Значения критериев определяются с помощью метода балльной оценки. Всем критериям придается вес, определяемый с помощью метода парных сравнений.*
Полученные результаты. *В результате получена математическая модель выбора оборудования, основанная на двух критериях – балльная оценка технических характеристик оборудования и балльная оценка стоимости оборудования. Значениями критериев являются множество оценок характеристик рассматриваемого оборудования и множество оценок стоимости рассматриваемого оборудования соответственно. Целевая функция стремится к мак*симуму, так как наилучшим считается оборудование, набравшее при оценке больше всего баллов.
Заключение. *Данная математическая модель выбора оборудования достаточно проста в использовании и показательна. В текущих условиях и реалиях рынка производственного и иного оборудования, при всем его многообразии, такая математическая модель позволит быстро и эффективно структурировать и анализировать информацию и выносить предварительные решения по закупкам оборудования, в соответствии с требованиями, предъявляемыми предприятием. Модель может быть использована в качестве системы оценки и выбора оборудования, включенной в автоматическую систему управления предприятием*

Ключевые слова: *техническое перевооружение, выбор оборудования, математическая модель, метод парной оценки, критерии выбора оборудования*

Для цитирования:
Соловейчик К.А., Левенцов В.А., Фарбер Э.М. Модель выбора оборудования при техническом перевооружении предприятия // Организатор производства. 2018. Т.26. №2. С. 84-94. **DOI:** 10.25065/1810-4894-2018-26-2-84-94

Сведения об авторах:
Кирилл Александрович Соловейчик (д-р экон. наук, доцент, *kirill@spbcioclub.ru*), заведующий кафедрой Процессы управления наукоемкими производствами.
Валерий Александрович Левенцов (канд. экон. наук, доцент, *vleventsov@spbstu.ru*), директор Высшей школы промышленного менеджмента и экономики.
Эдуард Михайлович Фарбер (*d.farber2010@yandex.ru*), инженер ОГТ по подготовке производства.

On authors:
Kirill A. Soloveychik (Dr. Sci. (Economy), Assistant Professor, *kirill@spbcioclub.ru*), Head of the Department Processes of Management of High-Tech Production.
Valeriy A. Leventsov (Cand. Sci. (Economy), Assistant Professor, *vleventsov@spbstu.ru*), Director of the Higher School of Industrial Management and Economics.
Eduard M. Farber (*d.farber2010@yandex.ru*), Production preparation engineer.

EQUIPMENT SELECTION MODEL AT TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF THE ENTERPRISE

K.A. Soloveychik, V.A. Leventsov
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

E.M. Farber
Public limited company «LENPOLIGRAPHMASH»
5, nab. reki Karpovki, St. Petersburg, 197376, Russia

Introduction. To date, the engineering industry of the Russian Federation faces many problems, negatively affecting its development and competitiveness. One of the possible and necessary solution to such problems is the technical re-equipment of enterprises. The purpose of this work is the development of a selecting equipment mathematical model, that will minimize the effort and time for analysis and selection of the equipment most suitable for the enterprise, while carrying out technical re-equipment.
Data and Methods. In this study, the optimal equipment selection process is presented in the form of multi-criteria optimization problem. The solution of the problem is carried out graphically. Values of the criteria are determined using the scoring method. All criteria has weight, determined by the method of paired comparison.
Results. As a result, a mathematical model of equipment selection was obtained, based on two criteria - a scoring of the technical characteristics of equipment and a scoring of the cost of equipment. Values of the criteria are a set of estimates of the characteristics of the equipment and a set of estimates of the cost of the equipment. The objective function tends to the maximum, because the equipment that scored the most points is the best.
Conclusion. This selection equipment mathematical model is fairly simple to use and indicative. In the current conditions and realities of the production and other equipment market, with all its diversity, such a mathematical model will quickly and efficiently structure and analyze information and make preliminary decisions on equipment purchases, in accordance with the requirements set by the enterprise. The model can be used as a system of assessment and selection of equipment included in the automatic system of enterprise management

Key words: technical re-equipment, equipment selection, mathematical model, pair-valuation method, equipment selection criteria

For citation:
Soloveychik K.A., Leventsov V.A., Farber E.M. (2018). Equipment selection model at technical re-equipment of the enterprise. *Organizator proizvodstva* = Organizer of Production, 26(2), 84-94. **DOI:** 10.25065/1810-4894-2018-26-2-84-94 (in Russian)

Введение (Introduction)

На сегодняшний день, машиностроительная промышленность Российской Федерации сталкивается с множеством проблем, отрицательно влияющих на ее развитие и конкурентоспособность. Одной из важных проблем является моральное устаревание и высокий износ имеющегося оборудования. За последние 15-20 лет на большинстве предприятий отмечаются не только высокие темпы старения основного оборудования (уровень износа оборудования составляет для обрабатывающих предприятий Российской федерации – 47% [1]), но и низкое применение научно-технических достижений, недоиспользование инновационно-технологического потенциала. Все это снижает общую эффективность работы предприятий, не позволяет им достичь нужного качества производимой продукции и эффективно поддерживать свою конкурентноспособность [2].

Одним из возможных и необходимых решений таких проблем является техническое перевооружение предприятий. Однако, при реализации проектов технического перевооружения, предприятия часто сталкиваются с

нехваткой ресурсов на такого рода проекты: финансовых, трудовых и временных [3].

Учитывая так же достаточно большой объем рынка технологического оборудования, большой разброс по стоимости и техническим характеристикам, процесс технологического перевооружения может потребовать много усилий на начальной стадии: анализа рынка и предварительного выбора оборудования.

Целью данной работы стала разработка математической модели выбора оборудования, которая позволит минимизировать усилия и время на анализ и выбор наиболее подходящего для предприятия оборудования.

Понятие технического перевооружения (The concept of technical re-equipment)

Техническое перевооружение промышленных предприятий (ТППП) — комплекс мероприятий, направленных на повышение технико-экономического уровня деятельности предприятий, отдельных производств, цехов и участков за счет внедрения современной техники и прогрессивной технологии, механизации и автоматизации производственных процессов, модернизации и замены морально устаревшего и физически изношенного оборудования, улучшения организации и структуры производства, а также других организационных мероприятий без расширения производственных площадей и увеличения количества рабочих мест [4,5,6,7].

Как правило, при технологическом перевооружении производится выбор оборудования из определенной рассматриваемой группы. Это может быть как различное оборудование разных поставщиков и производителей, так и оборудование от одного производителя, различающиеся по определенным характеристикам.

Выбор оборудования производится на основе технического задания предприятия, в котором указываются необходимые характеристики оборудования и условия поставки. В качестве характеристик могут выступать как конкретные технические характеристики (скорость вращения шпинделя, количество осей, требуемая оснастка и т.д.), так и общие (страна производитель).

Анализ литературы (Analysis of literature)

На сегодняшний день в литературе присутствует множество моделей и методов выбора оборудования для различных целей. Как правило, они представляют собой отдельные или совмещенные методики решений многокритериальных задач.

Говоря об иностранной литературе, можно привести в пример работу авторов I. Temiz и G. Calis [8], в которой рассматривается выбор строительного оборудования на основании сочетания метода анализа иерархий (AHP) и метода PROMETHEE (устанавливает отношение предпочтения между рассматриваемыми вариантами).

Такое же сочетание методик в своей работе рассматривает M. Dagdeviren [9], в качестве метода выбора оборудования, который, в конечном итоге, можно включить в систему управления компании.

В свою очередь, Virender S.P. и Ajit P.S. рассматривают проблему выбора оборудования как многокритериальную задачу, и сравнивают в своей работе результативность сразу нескольких способов ее решения – метод анализа иерархий, метод простого суммарного взвешивания (SAW), метода PROMETHEE, метод ELECTRE (относительное сравнение альтернативы с другой альтернативой)[10].

G. Tuzkaya и др. в своей работе так же решают задачу выбора оптимального оборудования как многокритериальную, и используют те же методы - метода PROMETHEE и аналитический сетевой процесс (ANP) (более общая форма метода анализа иерархий) [11].

В отечественных работах проблематика выбора оборудования на основе определенных требований так же рассматривается в первую очередь как задача многокритериальной оптимизации. Л.И. Нефедов и др. в своей работе показывают решение задачи выбора оборудования на основе метода нечетких множеств [12].

А С.О. Медведев и др. предлагают использовать методику дерева решений для нахождения оптимального оборудования при технологическом перевооружении, в качестве ключевого критерия используя оценку возможного дохода от приобретения рассматриваемого оборудования [13].

В общем и целом, в литературе прослеживается направленность на представлении проблемы выбора оборудования именно как многокритериальной задачи. Однако, стоит отметить, что почти все рассмотренные примеры используют достаточно серьезный, и в некоторой мере сложный математический аппарат, который требует от конечного пользователя определен-

ных знаний, что возможно затруднит использование представленных моделей и методов. В связи с этим, в данной работе будет рассматриваться достаточно простой и понятный, но при этом эффективный метод выбора оборудования.

Математическая модель выбора оборудования (Equipment selection mathematical model)

В данной работе представлена математическая модель выбора оборудования, основываясь на двух критериях – балльная оценка технических характеристик оборудования и балльная оценка стоимости оборудования. Критерии представлены двумя переменными - x_1 и x_2. Значениями первой переменной являются множество оценок характеристик рассматриваемого оборудования, значениями второй переменной – множество оценок стоимости рассматриваемого оборудования.

Математическая модель многокритериальной задачи выбора технологического оборудования имеет следующий вид:

$$\begin{cases} F(x) = \alpha_1 * x_1 - \alpha_2 * x_2 \to \max \\ x_1 = \sum_{i=1}^{n} a_{ij} \\ x_2 = b_j \\ \sum_{i=1}^{n} a_{ij} > 0 \\ b_j > 0 \\ \alpha_1 + \alpha_2 = 1; 0 < \alpha_1 < 1; 0 < \alpha_2 < 1 \\ i = 1...n;\ j = 1...m; \\ m \in N; a_{ij} \in N; n \in N; b_j \in N. \end{cases} \quad (1)$$

где $i = 1...n$ – наименования характеристик оборудования;

n – количество рассматриваемых в соответствие с техническим заданием характеристик;

$j = 1...m$ – перечень альтернативного оборудования;

m – количество рассматриваемого альтернативного оборудования;

a_{ij} – балл сравнительной оценки *i-й* характеристики рассматриваемого *j-го* оборудования относительно требований к данной характеристике в соответствие с техническим заданием;

b_j – балл ранговой оценки стоимости *j-го* рассматриваемого оборудования;

α_1 и α_2 – определяемые весовые коэффициенты.

Целевая функция математической модели стремится к максимуму, так как наилучшим считается оборудование, набравшее при оценке больше всего баллов. При этом отметим, что происходит вычитание балльной оценки стоимости из балльной оценки характеристик. Это обусловлено необходимостью максимизации оценки характеристик (лучшее по соответствию техническому заданию оборудование получит большую оценку), и при этом минимизации оценки стоимости (при одинаковом соответствии техническому заданию, выгоднее выбрать более дешевое оборудование). Каждый из рассматриваемых в модели критериев имеет определенный вес, который определяется с помощью метода парной оценки, представленного далее.

Оценка и выбор допустимого оборудования, удовлетворяющего требованиям технического задания и финансовым возможностям предприятия, проходит в несколько этапов:

1. Определение необходимых для оценки оборудования характеристик, их количества (n), в соответствие с техническим заданием.
2. Определение оборудования, которое будет участвовать в процессе выбора, количества оборудования (m).
3. Оценка характеристик рассматриваемого оборудования в сравнении с требованиями технического задания.
4. Оценка стоимости рассматриваемого оборудования.
5. Определение веса каждого критерия.
6. Построение итогового графика функции F и выбор оборудования.

Первые два этапа не нуждаются в какомлибо подробном описании, так как являются стандартной процедурой анализа технического задания на технологическое перевооружение предприятия (первый этап), и подбора оборудования, которое необходимо предприятию (второй этап).

На третьем этапе происходит оценивание характеристик выбранного к рассмотрению оборудования, в сравнении с характеристиками, требуемыми в техническом задании на технологическое перевооружение предприятия. Ниже представлен пример таблицы, в которую выставляются оценки (табл. 1).

Таблица 1

Оценка оборудования на основе технического задания

Table 1

Assessment based on the technical specifications of equipment

Характеристики	Оборудование 1	…	Оборудование j
Характеристика 1	a_{11}	...	a_{1j}
…	…	...	…
Характеристика i	...	...	a_{ij}
Суммарная оценка	...	…	$\sum_{i=1}^{n} a_{ij}$

Где a_{ij} – балл сравнительной оценки *i-й* характеристики рассматриваемого *j-го* оборудования относительно требований к данной характеристике в техническом задании, n – количество характеристик, m – количество рассматриваемого оборудования, $i = 1...n$, $j = 1...m$, $\sum_{i=1}^{n} a_{ij}$ - суммарная оценка *j-го* оборудования по всем *n* критериям.

Выставление сравнительных оценок проходит по следующим условиям:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & если \quad h_{ij} = h_{iT} \\ 2 & если \quad h_{ij} > h_{iT} \\ 0 & если \quad h_{ij} < h_{iT} \end{cases}$$

Где h_{ij} – значение *i-й* характеристики для *j-го* оборудования; h_{iT} – значение *i-й* характеристики в соответствие с требованием технического задания.

Таким образом, если *i-я* характеристика *j-го* рассматриваемого оборудования полностью совпадает с требованием технического задания по закупке оборудования – ставится балл 1. Если рассматриваемая характеристика выше, чем того требует техническое задание – ставится 2 балла, и соответственно, если характеристика не удовлетворяет техническому заданию, ставится 0 баллов.

Сравнение характеристик рассматриваемого оборудования и их оценка позволяет получить суммарную оценку по каждому рассматриваемому оборудованию. В зависимости от количества рассматриваемых характеристик, каждое из рассматриваемого оборудования может набрать различное количество баллов. Итоговая суммарная оценка становится первым показателем, на основе которого будет произведен выбор оборудования.

На четвертом этапе происходит бальная оценка стоимости рассматриваемого оборудования. Итогом этого этапа является получение баллов оценки для каждого *j*-го оборудования.

Для оценки необходимо из рассматриваемого оборудования выбрать оборудования с наибольшей и с наименьшей стоимостью. Далее проводим следующий расчет:

$$\max p_j - \min p_j = P$$

Где $max\ p_j$ – наибольшая стоимость рассматриваемого оборудования, $min\ p_j$ – наименьшая стоимость рассматриваемого оборудования, P – основной промежуток распределения стоимости оборудования.

После определения границ промежутка, необходимо определить размер балльной шкалы оценки. Размер шкалы S определяется по формуле:

$$S = m+2$$

Где m – количество рассматриваемого оборудования, $S \in N$.

Далее, необходимо разделить основной промежуток распределения стоимости оборудования на меньшие числовые промежутки, а каждому полученному промежутку присвоить свою собственную балльную оценку, в соответствие со шкалой S. Для этого необходимо рассчитать шаг (размер) промежутков по формуле:

$$R = P / S$$

где R – шаг промежутков.

С помощью полученного значения R и ранее определенных значений размера шкалы получаем S промежутков, на основании которых будут делать оценку:

$[min\ p_j\ ;\ min\ p_j + R],\ (min\ p_j + R;\ min\ p_j + 2R]\ ...\ (min\ p_j + (S-1)*R;\ min\ p_j + S*R]$

при этом $(min\ p_j + S*R) = max\ p_j$.

На основании полученных промежутков будет производиться балльная оценка стоимости рассматриваемого оборудования. Каждому из промежутков присваиваются баллы по шкале, от меньшего к большему (прямая зависимость).

Оборудованию с наименьшей стоимостью (*min* p_j) (соответственно и промежутку, в который включена цена этого оборудования) сразу присваивается наименьший возможный балл b_j, и в соответствие с условиями математической модели, наименьший возможный балл равен 1. Оборудованию с наибольшей стоимостью (*max* p_j) присваивается наибольшая из возможных оценок равная S – размеру балльной шкалы.

Далее, происходит оценка стоимости рассматриваемого оборудования. В зависимости от того, в какой числовой промежуток попадает стоимость рассматриваемого j-го оборудования, оборудование получает балльную оценку b_j, присвоенную данному промежутку.

То есть, если $[min\ p_j < p_1 < min\ p_j + R]$, то $b_1 = 1$. И так далее оценивается все оборудование.

Пятый этап, в соответствие с математической моделью, необходим для определения весов критериев. Определение весов критериев происходит на основе классического метода парного сравнения критериев[14,15]. Для этого уполномоченным экспертом предприятия составляется матрица $\|k_{el}\|$ размерностью, равной количеству критериев. Матрица заполняется коэффициентами k_{el}, которые показывают предпочтение критерия *e* относительно критерия *l*, $e = 1...p$, $l = 1...p$, p – количество критериев, в данном конкретном случае – 2. В данном случае матрица выглядит следующим образом:

$$k_{el} = \begin{vmatrix} k_{11} k_{12} \\ k_{21} k_{22} \end{vmatrix} \quad (2)$$

При использовании данного метода, значения коэффициентов определяются по следующим условиям:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если критерий } i \text{ более важен чем критерий } j \\ 0 & \text{если критерий } i \text{ менее важен чем критерий } j \\ 0{,}5 & \text{если критерий } i \text{ и } j \text{ имеют одинаковую важность} \end{cases}$$

При этом должно выполняться условие $k_{el} + k_{le} = 1$.

Далее рассчитывается суммарный уровень важности каждого критерия:

$$k_e = \sum_{l=1}^{p} k_{el} \quad (3)$$

где k_e - суммарный уровень важности каждого критерия, $e = 1\ldots p$, $l = 1\ldots p$.

После этого рассчитывается суммарный уровень всех критериев

$$k_c = \sum_{e=1}^{p} k_e \quad (4)$$

где k_c - суммарный уровень важности всех критериев, $e = 1\ldots p$.

На основание предыдущих расчетов получаем возможность рассчитать вес каждого критерия:

$$\alpha_e = \frac{k_e}{k_c} \quad (5)$$

где α_e - вес критерия *e*, $e = 1\ldots p$, $\sum_{e=1}^{p} \alpha_e = 1$.

Стоит отметить, что фактически, учитывая количество критериев (два) и особенность метода парного сравнения критериев, конечные весовые коэффициенты будут принимать значения либо 0,75 и 0,25, когда один из критериев будет важнее другого, либо 0,5 и 0,5, когда критерии будут равноценны.

Последний, шестой этап, необходим для принятия окончательного решения по выбору оборудования для технического перевооружения предприятия. В соответствие с математической моделью, каждое из рассматриваемого оборудования имеет два критерия, описанных двумя переменными, объединенными в функцию F, на основании которой и будет производиться итоговый выбор оптимального оборудования.

Для выбора наиболее оптимального оборудования необходимо построить значения итоговой функции F для каждого рассматриваемого оборудования. При этом по оси абсцисс будут располагаться наименования оборудования (от 1 до m), по оси ординат – значения итоговой функции. В соответствие с математической моделью, наиболее подходящим будет то оборудование, для которого значение итоговой функции F будет максимальным. Результат выбора оптимального оборудования достаточно сильно зависит от того, как распределены веса критериев. При различных распределениях весов оптимальным может быть различное оборудование из перечня рассматриваемого.

Далее будет представлен пример использования математической модели, при выборе

оборудования для предприятия ОАО «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ».

Пример использования математической модели (An example of using the mathematical model)

Пример использования математической модели основывается на предприятии ОАО «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ» - предприятие, расположенное в г. Санкт-Петербург, и специализирующееся на разработке и производстве продукции точного машиностроения, предназначенного, в том числе, для работы в жестких механико-климатических условиях.

В соответствие с математической моделью выбора наиболее оптимального оборудования, первично, на основе технического задания на технологическое перевооружение предприятия, были определены требуемые технические характеристики для интересующего предприятие оборудования, а именно – вертикально-фрезерный обрабатывающий центр с числовым программным управлением. Необходимы следующие характеристики:

1. Количество осей обработки – 4;
2. Числовое программное управление (ЧПУ) – HEIDENHAIN;
3. Размер стола – не менее 900*500 мм;
4. Вылет инструмента по оси Z – не менее 300 мм;
5. Максимальная частота вращения шпинделя – не менее 8000 об/мин;
6. Оснащение щупами обмера заготовки и инструмента;
7. Жесткая конструкция станины;
8. Вес не более 12 тонн;
9. Наличие системы замера вылета и износа инструмента;
10. Страна происхождения – Германия / Швейцария / Англия / Чехия / Япония / Корея;

Таким образом, количество рассматриваемых технических характеристик равно 10, а, следовательно, $n = 10$.

Следующим этапом, в соответствие с математической моделью выбора оборудования, на основании представленных требований, были определены четыре альтернативные единицы оборудования, которые буду рассматриваться и оцениваться, для определения наиболее оптимального оборудования и дальнейшей его закупки. В статье они буду представлены под наименованиями – Оборудование 1, Оборудование 2, Оборудование 3 и Оборудование 4. Исходя из этого, получаем, что количество рассматриваемого оборудования равно четырем, т.е. $m = 4$.

На третьем этапе, в соответствие с математической моделью, производится оценка характеристик рассматриваемого для выбора оборудования в сравнении с характеристиками, указанными в техническом задании, и получение суммарных оценок по каждому оборудованию. Непосредственные оценки характеристик оборудования и суммарные оценки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка оборудования

Table 2

Evaluation of equipment

№	Характеристика	Оборудование 1	Оборудование 2	Оборудование 3	Оборудование 4
1	Кол-во осей обработки - 4	1	1	1	1
2	ЧПУ HEIDENHAIN	0	0	0	1
3	Размер стола - не менее 900*500 мм	2	2	2	1
4	Вылет инструмента по оси Z – не менее 300 мм	2	2	2	2
5	Макс. частота вращения шпинделя – не менее 8000 об/мин	1	2	2	1
6	Оснащение щупами обмера заготовки и инструмента	0	0	1	1
7	Жесткая конструкция станины	1	1	1	1
8	Вес не более 12 тонн	1	1	1	1
9	Наличие системы замера вылета и износа инструмента	1	1	1	1
10	Страна происхождения	0	0	0	1
	Суммарная оценка	9	10	11	11

Как видно из табл. 2, оцениваемое оборудование получило примерно одинаковые оценки.

Здесь стоит, однако, прояснить некоторые оценки. Определенные характеристики в техни-

ческом задании описаны как минимальные ограничения (не менее…). Если характеристика оцениваемого оборудования равна минимальному ограничению (в данном случае для оборудования 4 максимальная частота вращения шпинделя равна 8000 об/мин), в соответствие с математической моделью ставится 1 балл – полное удовлетворение требованиям. Для оборудования, характеристики которого выше заявленного ограничения – ставится 2 балла (Оборудование 2 и 3). В случае, если бы в оценке участвовало оборудование, чья частота вращения шпинделя ниже указанного минимума, такому оборудованию следовало бы поставить 0 баллов по данной характеристике.

В свою очередь, для четко указанных в техническом задании характеристик, например, требование по наличию ЧПУ определенного производителя (ЧПУ HEIDENHAIN), в соответствие с математической моделью, возможно выставление только двух оценок – полное удовлетворение требованию – 1 балл, неудовлетворение требованию – 0 баллов.

На четвертом этапе, как было отмечено ранее, проводится балльная оценка стоимости рассматриваемого оборудования. Для этого представим стоимости рассматриваемого при выборе оборудования:

1. Оборудование 1 – 9756437 рублей.
2. Оборудование 2 – 11338922 рублей.
3. Оборудование 3 – 11682753 рублей.
4. Оборудование 4 – 12438922 рублей.

Из представленных стоимостей необходимо выбрать оборудование с наибольшей и наименьшей стоимостью, это оборудование 1 (наименьшая стоимость), и оборудование 4 (наибольшая). Путем вычитания минимальной стоимости оборудования из максимальной получаем значение основного промежутка распределения стоимости: P = 2682485.

Количество рассматриваемого оборудования m = 4. Тогда балльная шкала оценки S = m+2 = 6. Далее, шаг промежутков R=2682485/6=447080,8. Таким образом, мы получаем следующие 6 числовых промежутков, на основании которых будет проводиться оценка стоимости оборудования:

1. [9756437 ; 10203518] - 1 балл;
2. (10203518 ; 10650599] – 2 балла;
3. (10650599 ; 11097680] – 3 балла;
4. (11097680 ; 11544760] – 4 балла;
5. (11544760 ; 11991841] – 5 баллов;
6. (11991841 ; 12438922] – 6 баллов.

Оборудованию 1 сразу присваивается 1 балл, как оборудованию с минимальной стоимостью, оборудованию 4 – 6 баллов, как оборудованию с максимальной стоимостью. Оценивается так же оборудование 2 и 3 – 4 и 5 баллов соответственно, так как стоимости этого оборудования попадают в числовые промежутки номер 4 и 5 соответственно. Таким образом получены следующие оценки:

1. Оборудование 1 – 1 балл.
2. Оборудование 2 – 4 балла.
3. Оборудование 3 – 5 баллов.
4. Оборудование 4 – 6 баллов.

Далее, на пятом этапе, необходимо определить весовые коэффициенты для каждого критерия, на основании которых производится выбор наиболее подходящего оборудования. В соответствие с математической моделью, составляется матрица парного сравнения критериев и производится оценка:

$$k_{el} = \begin{vmatrix} 0{,}5 & 1 \\ 0 & 0{,}5 \end{vmatrix} \quad (6)$$

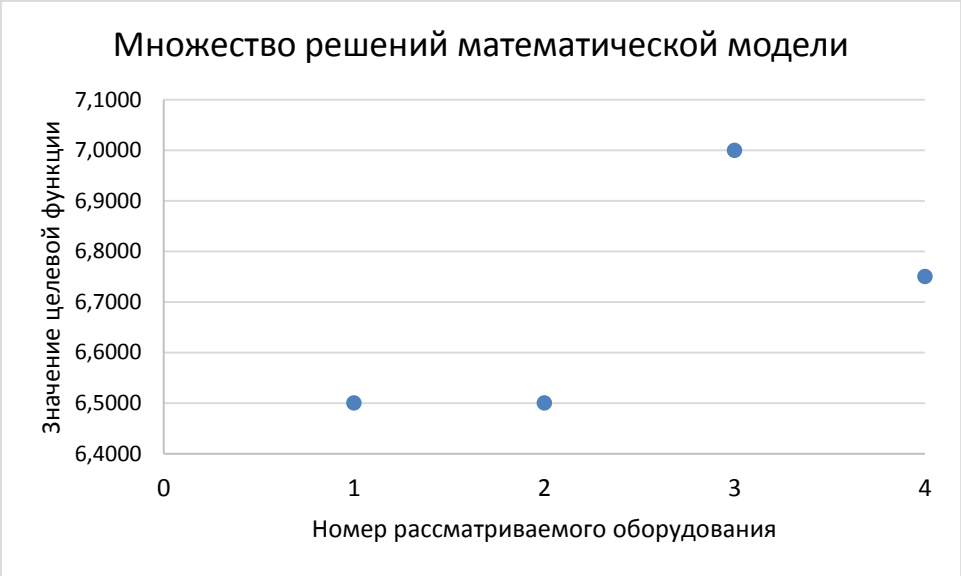
На основании матрицы получаем суммарный уровень важности первого и второго критерия: $k_1 = 1{,}5$; $k_2 = 0{,}5$.

Далее рассчитывается суммарный уровень важности всех критериев: $k_c = 2$. На основании полученных уровней важности каждого критерия, и суммарного уровня важности, в соответствие с формулой 5 математической модели, получаем вес каждого критерия: $\alpha_1 = 0{,}75$, $\alpha_2 = 0{,}25$.

На последнем, шестом этапе использования математической модели производится построение множества решений математической модели выбора наиболее оптимального оборудования для каждого *j-го* оборудования. Для этого необходимо рассчитать значения функции F для каждого рассматриваемого оборудования, основываясь на значениях критериев и их весовых коэффициентов. На основании предыдущих данных получаем:

1. Оборудование 1: F = 6,5;
2. Оборудование 2: F = 6,5;
3. Оборудование 3: F = 7;
4. Оборудование 4: F = 6,75;

Графическая интерпретация полученных значений представлена на рисунке.



Множество решений модели выбора оборудования
The solution set of the equipment model selection

Из рисунка следует, что оптимальным оборудованием в текущих условиях и при текущих ценах является оборудование 3, так как значение функции F для данного оборудования максимальное, что и является конечной целью, в соответствие с математической моделью.

Таким образом, представленная математическая модель позволяет четко оценить рассматриваемое оборудование, визуально ранжировать его (с помощью графика) и определить наиболее оптимальное оборудование, в соответствие с требованиями технического задания и финансовыми возможностями предприятия.

Заключение (Conclusions or Discussion and Implication)

Представленная в работе математическая модель выбора оборудования достаточно проста в использовании и показательна. В текущих условиях и реалиях рынка производственного и иного оборудования, при всем его многообразии, такая математическая модель позволит быстро и эффективно структурировать и анализировать информацию и выносить предварительные решения по закупкам оборудования, в соответствие с требованиями, предъявляемыми предприятием. Это позволит предприятиям, сталкивающимся с необходимостью проведения объемного технического перевооружения, минимизировать затраты времени на анализ рынка и выбор оптимального оборудования.

Использование графического представления множества решений позволяет определить не просто одну единственную наилучшую единицу оборудования, но группу оптимального оборудования, и из этой группы выявить лучшего из лучших. При этом, в случае нехватки финансирования, или каких-либо иных проблем, всегда есть возможность повторного выбора из группы наилучшего оборудования.

Учитывая простоту и понятность математической модели, можно говорить о возможности ее внедрения в систему управления предприятием.

В дальнейшем, возможно усложнение математической модели, добавление дополнительных критериев, для оценки не только оборудования, но и поставщика, поставляющего это оборудование, что позволит быстро и точно находить оптимальный вариант сочетания качественного и высококлассного оборудования от ответственного и надежного поставщика.

Библиографический список

1. Сухарев О.С. Промышленность России: проблемы развития и системные решения / Вестник института экономики российской академии наук. 2016. №2. С. 69-87.

2. Татарских Б.Я. Организационные и инновационно-технологические факторы повышения эффективности российского машиностроения / Экономические науки. 2017. №4(149). С. 49-52.

3. Хорев М.А. Современные проблемы развития промышленных предприятий среднего бизнеса / Современные наукоемкие технологии. 2008. №6. С. 32-34.

4. Слуцкий В.А., Константинова Ф.С., Ханицкая Г.Я., Капаев А.А., Шпигель М.Я. Техническое перевооружение – назревшая проблема российской промышленности. Часть5. Нормативно-технические аспекты технического перевооружения / Вестник химической промышленности. 2016. №6(93). С.40 – 44.

5. Беляков Г.П., Еремеев Д.В. Исследование содержания понятий: техническое перевооружение, техническое переоснащение, модернизация / Вестник СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2011. № 3(49). С. 177—182.

6. Семянко А.Г. Об оценке эффективности технического перевооружения / Вопросы современной науки и практики Университет имени В.И.Вернадского. 2010. №1-3(28). С.146 – 157.

7. Крайнов М. Как снизить издержки производства / Пластикс. 2016. №7(158). С.40 – 45.

8. Temiz I., Calis G. Selection of Construction Equipment by Using Multi-criteria Decision Making Methods / Procedia Engineering. 2017. №196 С. 286 – 293.

9. Dağdeviren M. Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE / Journal of Intelligent Manufacturing. 2008. №4. С. 397 – 406.

10. Virender S.P., Ajit P.S. Selection of equipment for Construction of Hilly Road using Multi Criteria Approach / Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. №104. С. 282 – 291.

11. Tuzkaya G., Gulsun B., Kahraman C., Ozgen D. An integrated fuzzy multi-criteria decision making methodology for material handling equipment selection problem and an application / Expert Systems with Applications. 2010. №37. С. 2853-2863.

12. Нефедов Л.И., Петренко Ю.А., Кононыхин А.С. Модель выбора оборудования проектного офиса в условиях нечеткой информации / Вестник НТУ «ХПИ». 2014. №7(1050). С.71 – 76.

13. Медведев С.О., Мохирев А.П., Рогачева С.В. Выбор оптимального оборудования для технического перевооружения на лесопромышленном предприятии / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. №9. 2015. С.324 – 328.

14. Brown T.C., Peterson G.L. An enquiry into the method of paired comparison: reliability, scaling, and Thurstone's Law of Comparative Judgment – методическое пособие. Gen Tech. Rep. RMRS-GTR-216WWW. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2009. – 98 p.

15. Tsukida K., Gupta M.R. How to Analyze Paired Comparison Data / UWEE Technical Report. 2011. №4. С.2 – 21.

Поступила в редакцию – 7 мая 2018 г.
Принята в печать – 15 июня 2018 г.

References

1. Suharev O.S. (2016). Industry of Russia: problems of development and system decisions. *Vestnik instituta jekonomiki rossijskoj akademii nauk*=The Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences, №2, 69-87.

2. Tatarskih B.Ja. (2017). Organizational and innovation-technological factors of improving the efficiency of Russian engineering. *Jekonomicheskie nauki*=Economic science, №4(149), 49-52.

3. Horev M.A. (2008). Problems of development of the industrial enterprises of middle business. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*=Modern high technologies, №6, 32-34.

4. Sluckij V.A., Konstantinova F.S., Hanickaja G.Ja., Kapaev A.A., Shpigel' M.Ja. (2016). Technical re-equipment - the urgent problem of Russian industry. Part 5. Regulatory and technical aspects of technical re-equipment. *Vestnik himicheskoj promyshlennosti*= The Bulletin of chemical production, №6(93), 40-44.

5. Beljakov G.P., Eremeev D.V. (2011) Study of concepts: technical upgrading, retooling, modernization, modernizacija. *Vestnik SibGU im. M.F. Reshetneva*= Scientific Journal of Science and Technology, №4(49), 177-182.

6. Semjanko A.G. (2010). About Estimation of Technical Re-Equipping Efficiency. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki Universitet imeni V.I.Vernadskogo*=Problems of Contemporary Science and Practice, Vernadsky University, №1-3(28), 146-157.

7. Krajnov M. (2016) How to reduce production costs. Plastiks, №7(158), 40-45.

8. Temiz I., Calis G. (2017). Selection of Construction Equipment by Using Multi-criteria Decision Making Methods. Procedia Engineering, №196, 286 – 293.

9. Dağdeviren M. (2008). Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE. Journal of Intelligent Manufacturing, №4, 397 – 406.

10. Virender S.P., Ajit P.S. (2013). Selection of equipment for Construction of Hilly Road using Multi Criteria Approach. Procedia - Social and Behavioral Sciences, №104, 282 – 291.

11. Tuzkaya G., Gulsun B., Kahraman C., Ozgen D. (2010). An integrated fuzzy multi-criteria decision making methodology for material handling equipment selection problem and an application. Expert Systems with Applications, №37, 2853–2863.

12. Nefedov L.I., Petrenko Ju.A., Kononyhin A.S. (2014) Model of selection of project office equipments in fuzzy information. Vestnik NTU «HPI»=Bulletin of NTU "KhPI", №7(1050), 71-76.

13. Medvedev S.O., Mohirev A.P., Rogacheva S.V. (2015). The choice of optimal equipment for technical reequipment of the timber industry enterprise. Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice, №9, 324 -328. DOI: 10.12737/16934.

14. Brown T.C., Peterson G.L. (2009) An enquiry into the method of paired comparison: reliability, scaling, and Thurstone's Law of Comparative Judgment. Gen Tech. Rep. RMRS-GTR-216WWW. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 98 s.

15. Tsukida K., Gupta M.R. (2011) How to Analyze Paired Comparison Data. UWEE Technical Report, №4, 2 – 21.

Received – 7 May 2018.
Accepted for publication – 15 June 2018.