

DOI: 10.25987/VSTU.2019.92.59.001

УДК 568.386.621

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.А. Волочиенко

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 5

И.Ю. Ермаков

Государственный научный центр Российской Федерации
Институт медико-биологических проблем Российской академии наук
Россия, 123007, г. Москва, Хорошевское шоссе 76 А

А.А. Полякова

ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»
Россия, 129085, г. Москва, ул. Годовикова, дом 9, стр. 1

Введение. Рассмотрены достоинства и недостатки самостоятельного производства определенных видов потребляемых машиностроительным предприятием ресурсов и поставок этих ресурсов специализированными предприятиями, предприятиями-смежниками, посредниками. Выполнено описание реальных условий решения задачи «сделать или купить» – "Make or Buy" (МОВ) – для осуществления планирования источников удовлетворения потребностей машиностроительных предприятий в инструментах.

Данные и методы. Выбор метода решения задачи МОВ рекомендуется осуществлять с учетом реально располагаемых данных, характеризующих производственно-хозяйственные, финансово-экономические, социально-психологические аспекты функционирования предприятия. Изложен метод установления источников удовлетворения потребностей машиностроительного предприятия в инструментах на основе сопоставления себестоимости собственного изготовления востребованных типоразмеров инструментов с затратами на удовлетворение этих потребностей возможными внешними поставщиками. Графическая интерпретация этого метода позволяет отразить критическую величину потребности в конкретном инструменте – точку безубыточности и устанавливать источники удовлетворения различных востребованных количеств рассматриваемого типоразмера инструмента. Рассмотрен ряд известных методов принятия решений в «простых» ситуациях по принципу «делать или не делать», применительно к задаче МОВ, и моделей определения источников удовлетворения востребованных предприятием инструментов, представленных в виде однокритериальных оптимизационных задач.

Полученные результаты. Предложены модель формирования оптимального плана удовлетворения потребностей предприятия в инструментах в виде многокритериальной оптимизационной задачи,

Сведения об авторах:

Владимир Антонович Волочиенко (д-р экон. наук, канд. техн. наук, voko2010@rambler.ru), профессор кафедры «Экономика и организация производства»

Иван Юрьевич Ермаков (старший лаборант, vancha94@gmail.com), лаборатория 0-061

Анастасия Алексеевна Полякова (лаборант-исследователь, selgaand.karo@yandex.ru)

On authors:

Vladimir A. Volochienko (Dr. Ekon. Sciences, Cand. tech. Sciences, voko2010@rambler.ru), Professor of the Department "Economics and organization of production"

Ivan Yu. Ermakov (senior laboratory assistant vancha94@gmail.com), senior laboratory assistant laboratory 0-061

Anastasia A. Polyakova (laboratory researcher selgaand.karo@yandex.ru)

способ ее преобразования в однокритериальную линейную модель с глобальным критерием. Представлены технико-экономические параметры, описание функционирования разработанного с использованием пакета прикладных программ Excel программного продукта, позволяющего на персональном компьютере осуществлять формирование планов удовлетворения потребностей предприятия в инструментах как результат решения многокритериальной оптимизационной задачи с глобальным критерием, так и результаты решения однокритериальных оптимизационных задач с частными критериями. Приведены примеры форм видеодиаграмм, отражающих результаты применения программного продукта.

Заключение. Рекомендовано применять предложенную авторами модель и программный продукт для решения многокритериальной оптимизационной задачи, а также названные известные способы решения задачи МОБ адекватно имеющим место на предприятиях реальным условиям.

Ключевые слова: машиностроительное предприятие, потребности в инструментах, задача «сделать или купить», метод, критерии, оптимальное решение.

Для цитирования:

В.А. Волочиенко, И.Ю. Ермаков, А.А. Полякова Оптимальное планирование инструментообеспечения машиностроительных предприятий // Организатор производства. 2019. Т.27. №4. С. 38-51. DOI: 10.25987/VSTU.2019.92.59.001

OPTIMAL PLANNING OF INSTRUMENT SUPPORT OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

V. A. Volochienko

Moscow state technical University. N. E. Bauman
Russia, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya street, 5-1

I.Yu. Ermakov

State scientific center of the Russian Federation
Institute of biomedical problems of the Russian Academy of Sciences
Russia, 123007, Moscow, Khoroshevskoye highway 76 A

A.A. Polyakova

LLC «Experimental workshop Nauchsoft»
Russia, 129085, Moscow, Godovikova str., house 9, p. 1

Introduction. The advantages and disadvantages of self-production of certain types of consumable engineering company resources and supply these resources, specialist companies, enterprises-suppliers, intermediaries. A description of the real conditions for solving the problem "make or buy" – "Make or Buy" (MOB) – for the implementation of planning sources to meet the needs of engineering enterprises in the tools.

Data and methods. The choice of the method of solving the MOB problem is recommended to be carried out taking into account the actual available data characterizing the production and economic, financial and economic, social and psychological aspects of the enterprise. The method of establishing the sources meet the needs of machine-building enterprise tools based on mapping the cost of its own production of popular standard sizes of the instruments with the cost of meeting these needs possible external suppliers. Graphical interpretation of this method allows to reflect the critical value of the need for a particular tool-break-even point and to establish the sources of satisfaction of various demanded quantities of the considered instrument size. A number of known methods of decision-making in "simple" situations on the principle of "do or not do", in relation to the MOB problem, and models for determining the sources of satisfaction of the tools demanded by the enterprise, presented in the form of single-criteria optimization problems, are considered.

Obtained result. *The model of forming an optimal plan to meet the needs of enterprise tools in the form of multi-criteria optimization problem, the method of its transformation into single-criterion linear model with a global criterion. Presented technical and economic parameters, describes the function developed using the software package Excel software product that allows a personal computer to carry out the plans meet the needs of businesses in the instruments as the result of solving the multicriteria optimization problems with global criteria and how the results of solving single-criterion optimization problems with private criteria. Examples of video forms reflecting the results of the software application are given.*

Conclusion. *It is recommended to use the model and software proposed by the authors to solve the multi-criteria optimization problem, as well as the above-mentioned known ways to solve the problem MOB adequately taking place at the enterprises of the real conditions.*

Key words: *machine-building enterprise, needs for tools, task "to make or buy", method, criteria, optimal solution.*

For citation:

V. A. Volochienko, I. Yu. Ermakov, A. A. Polyakova Optimal planning of instrument support of machine-building enterprises // Organizer of production. 2019. T. 27. No. 4. С. 38-51 DOI: 10.25987/VSTU.2019.37.63.002

Введение

Одним из условий успешной работы машиностроительных предприятий является экономное использование ресурсов (вещественных, энергетических, информационных), задействованных в инновационных, производственных процессах предприятий и процессах их функционального обслуживания. Результаты производственно-хозяйственной и финансово-экономической деятельности машиностроительных предприятий связаны с показателями качества обеспеченности реализуемых процессов ресурсами (временными, объемными, техническими, экономическими) и способами использования ресурсов (технологиями).

Обеспеченность в конкретных видах потребляемых предприятием ресурсов может удовлетворяться поступлением только из внешней среды предприятия или только генерацией (производством) в его внутренней среде либо как поступлением извне, так и собственным производством. В последнем случае при возникновении необходимости принятия решения о способах реализации обеспеченности предприятия в необходимых видах ресурсов, например, в средствах технологического оснащения, деталях, сборочных единицах, комплектующих изделиях и прочих предметах, решается известная задача «сделать или купить» – "Make or Buy" (МОБ) [1, 2, 3, 4].

Решив задачу МОБ, предприятие может принять однозначное решение относительно необходимости собственного производства

необходимых ему в процессе функционирования ресурсов или целесообразности их приобретения у стороннего производителя (поставок со стороны). При принятии этого решения могут использоваться разнообразные критерии, отражающие многоаспектность производственно-хозяйственных, финансово-экономических, социально-психологических и иных интересов предприятия. Рассмотрим применимые способы решения этой задачи на примере планирования источников удовлетворения потребностей в номенклатуре (типоразмерах) и объемах (количествах) одного из ресурсов, используемого в реализуемых на машиностроительных предприятиях процессах, а именно, инструментов и технологической оснастки.

Теоретические основы обеспечения машиностроительных предприятий необходимыми ресурсами.

Самостоятельное производство определенных видов потребляемых ресурсов снижает зависимость предприятия от внешних поставок этих ресурсов, то есть, создает предпосылки для устойчивого функционирования предприятия вне зависимости (в определенных пределах) от складывающихся во внешней среде ситуаций. В то же время высокое качество и низкую себестоимость отдельных ресурсов можно обеспечить за счет поставок специализирующихся на их производстве предприятий. Поэтому, отказываясь от собственного производства и принимая решение о покупке определенного ресурса у специализированного поставщика, предприятие получает

возможность поднять качество и снизить себестоимость изготавливаемой продукции, однако попадает при этом в зависимость от окружающей внешней среды. Минимизации рисков потерь, обусловленных ростом зависимости предприятия от внешних поставок отдельных ресурсов, способствует повышение надежности поставок и рост степени развития логистических связей.

В процессе обоснования выбора однозначного решения могут использоваться критерии, связанные, например, с такими факторами как динамика спроса на востребованные предметы, их качество, конкурентоспособность, необходимые для их производства ресурсы, возможности организации своевременного обеспечения их производства потребными ресурсами, величины затрат на их собственное производство и приобретение со стороны, степень освоения производства, принадлежность к имеющимся видам производства, серийность изготовления, наличие в производственном процессе «ноу-хау», многообразие источников поставки и элементов-аналогов, а также с рядом других факторов [5]. Решение в пользу закупок предметов может быть принято, например, в случаях незначительной их потребности, дефиците необходимых для их производства мощностей, трудовых ресурсов. Целесообразность собственного производства предметов обуславливается, например, стабильной и достаточно значительной потребностью, наличием избыточных мощностей и кадров необходимой квалификации для их производства.

В широком смысле задача МОВ призвана разрешить проблемы степени использования собственных средств производства, трудовых ресурсов и предметов труда. В качестве критериев оптимальности при решении задачи МОВ могут рассматриваться величины денежных затрат на удовлетворение потребностей предприятия в необходимых материальных ресурсах, количественные оценки состава персонала необходимой квалификации и другие. Если при решении задачи МОВ в качестве критерия оптимальности выступает величина прибыли, а целевой функцией является ее максимизация, то для принятия обоснованного решения необходимо сравнить денежные затраты на собственное производство рассматриваемых предметов с затратами на их закупку и доставку.

Одним из ресурсов, используемым в реализуемых на машиностроительных предприятиях процессах, являются инструменты и технологическая оснастка, называемых ниже «инструменты-инструменты». На предприятиях составляются планы удовлетворения потребностей в этом виде ресурсов на различные горизонты планирования (квартал, полугодие, год). В принятом на предприятии горизонте планирования потребности в инструментах устанавливаются как по объему (в рублях по видам инструментов, например, по режущему инструменту – по резцам, фрезам, сверлам и т.д.), так и по номенклатуре (в штуках по типоразмерам).

Источниками удовлетворения потребностей в инструментах предприятий являются внешние поставщики (инструментальные заводы, предприятия-смежники, посредники) и собственное производство.

Инструменты, изготовленные на специализированных предприятиях, имеют, как правило, более низкую цену, преимущества в показателях качества, конкурентоспособности, чем те же инструменты, поступающий от смежников, посредников или изготовленные инструментальным производством данного предприятия. Следовательно, представляется целесообразным отказаться от собственного изготовления инструментов на предприятиях машиностроения и прочих промышленных предприятиях, на которых инструментальное производство не является основным видом производства, и приобретать все востребованные инструменты, изготовленные инструментальными заводами. Однако, специализированные инструментальные предприятия в условиях динамично изменяющегося спроса не могут в желаемые сроки удовлетворить потребности всех потребителей по объемам и номенклатуре стандартных и тем более специальных и нормализованных инструментов. Поэтому на промышленных предприятиях вынуждены организовывать собственное инструментальное производство, которое классифицируется как вспомогательный вид производства.

В условиях наличия указанных ограничений на машиностроительных предприятиях разрабатывают планы удовлетворения потребностей в инструментах: номенклатурные планы поставок инструмента инструментальными заводами, смежниками (посредниками) и план

собственного производства инструментов. Правила включения номенклатуры инструментов в планы удовлетворения потребностей в инструментах могут быть различны и определяются их составителями.

При формировании вариантов планов удовлетворения потребностей в инструментах возможно варьирование величин денежных затрат за счет разницы в ценах на идентичные типоразмеры, поступающие от внешних поставщиков и изготовленные на данном предприятии. Также возможно спланировать экономное использование различных видов дефицитных ресурсов предприятий (трудовых, материальных и других), используемых в процессе собственного изготовления инструментов, за счет получения соответствующих типоразмеров со стороны.

Оптимально составленный и реализованный план удовлетворения потребностей предприятия в инструментах обеспечивает снижение затрат задействованных ресурсов, что, в свою очередь, снижает себестоимость выпускаемой предприятием продукции.

Таким образом, в условиях наличия ограничений на различные виды ресурсов (финансовые, трудовые, материальные и другие), используемые в процессе удовлетворения потребностей предприятия в инструментах, формирование плана удовлетворения потребности предприятия в инструментах целесообразно рассматривать как оптимизационную задачу.

Данные и методы.

Решение задачи МОВ можно осуществить различными методами [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Выбор метода (методов) решения задачи МОВ для конкретного машиностроительного предприятия следует осуществлять с учетом располагаемой информации – данных, характеризующих производственно-хозяйственные, финансово-экономические, социально-психологические аспекты функционирования предприятия. Коротко рассмотрим ряд методов, применимых для решения задачи МОВ, и состав необходимых исходных данных для их реализации на примере планирования источников удовлетворения потребностей машиностроительного предприятия в инструментах.

Одним из возможных способов решения задачи МОВ в целях установления источников удовлетворения потребностей машинострои-

тельного предприятия в инструментах является метод сопоставления себестоимости собственного изготовления потребного количества каждого типоразмера инструмента с затратами на удовлетворение этой потребности возможными внешними поставщиками. Минимальное значение величины денежных средств, которые необходимо затратить на удовлетворение потребности предприятия в определенном типоразмере инструмента рассматриваемыми источниками (собственным производством и внешними поставщиками), укажет на целесообразный источник инструментообеспечения. То есть, позволит найти однозначное решение дилеммы «сделать или купить» для потребного количества рассматриваемого типоразмера инструмента.

Если возникает необходимость проанализировать множество вариантов установления источника удовлетворения различных потребных количеств рассматриваемого типоразмера инструмента, то целесообразно применить метод определения точки безубыточности (критической точки) [6].

Для расчета точки безубыточности необходимо представить себестоимость собственного изготовления рассматриваемого типоразмера инструмента в виде двух составляющих: переменных затрат (P_p), размер которых изменяется

прямо пропорционально различным потребным количествам рассматриваемого типоразмера инструмента, и условно-постоянных затрат (P_v), размер которых не зависит от величины различных потребных количеств рассматриваемого типоразмера инструмента. К переменным затратам относят: затраты на материалы, из которых изготавливается рассматриваемый типоразмер инструмента; затраты на основную и дополнительную заработную плату рабочим-инструментальщикам с учетом единого социального налога и ряд других статей затрат. Условно-постоянные затраты в основном связаны с эксплуатацией оборудования, оснастки, инструмента специально сконструированных для осуществления технологического процесса изготовления рассматриваемого типоразмера инструмента.

Расчет точки безубыточности позволяет установить критическую величину потребности машиностроительного предприятия в рассматри-

ваемом типоразмере инструмента N^* , в которой себестоимость собственного изготовления ($P_p \cdot N + P_v$) и затраты на удовлетворение этой потребности внешним поставщиком ($C_i \cdot N$) будут равны, где N - величина потребности предприятия в рассматриваемом типоразмере инструмента ($N = 1, 2, \dots, N_{\max}$), C_i - цена закупки рассматриваемого типоразмера инструмента у i -го поставщика ($i = 1$).

Если сопоставление себестоимости собственного изготовления критической величины потребности машиностроительного предприятия в рассматриваемом типоразмере инструмента с затратами на удовлетворение этой потребности возможным внешним поставщиком отразить графически, то можно увидеть, что критическая величина потребности в данном инструменте N^* является абсциссой точки пересечения двух прямых с начальными ординатами (P_v) и (0), выраженных уравнением себестоимости собственного изготовления величин потребностей предприятия в рассматриваемом типоразмере инструмента N и затрат на удовлетворение этих потребностей внешним поставщиком. Если существует несколько внешних поставщиков ($i = n$) с разными ценами закупки рассматриваемого типоразмера инструмента у i -го поставщика ($C_i, i = 1, \dots, n$), то на графике будет отражено соответствующее количество точек безубыточности и прямых с начальными ординатами (0).

Абсцисса точки безубыточности (критической точки) является границей областей установления наиболее целесообразного источника удовлетворения потребностей машиностроительного предприятия в инструментах, а именно, левая область (от начала координат до точки безубыточности, ограниченная прямой ($C_i \cdot N$), указывает на целесообразность удовлетворения потребности машиностроительного предприятия в рассматриваемом типоразмере инструмента внешним поставщиком, а правая – собственным производством.

Для реализации рассмотренных методов решения задачи МОВ необходимы данные о

величинах потребностей предприятия в рассматриваемых типоразмерах инструментов, себестоимостях их собственного изготовления, ценах их закупки у внешних поставщиков, переменных и условно-постоянных затратах себестоимостей собственного изготовления рассматриваемых типоразмеров инструментов.

Для решения задачи МОВ применимы методы принятия решений в «простых» ситуациях типа «делать или не делать» [5, 7]. К ним относятся: оценка количественных показателей, метод Франклина, рейтинговая система. Для каждого анализируемого элемента эти способы можно применять индивидуально или совокупно.

Метод оценки количественных показателей заключается в принятии однозначного решения из двух возможных альтернатив по принципу «делать или не делать». Алгоритм метода следующий: необходимо зафиксировать два типа факторов, первый из которых указывает на целесообразность «сделать это» – например, «производить», а второй – «не делать это», то есть «закупать». Оценив факторы по десятибалльной шкале, следует по типам факторов рассчитать среднеарифметическое значение, большее из которых укажет на рекомендуемое к принятию решение.

Метод Франклина основан на качественной оценке значимости фиксируемых двух типов факторов: первый – «За» то, чтобы сделать это, а второй – «Против». Качественная оценка значимости выявленных факторов «За» и «Против» заключается в удалении из рассмотрения взаимоисключающих доводов, исходя из индивидуальной системы ценностей лица, принимающего решение. Результат качественной оценки значимости исходных факторов «За» и «Против» является критерием принятия решения, а именно: принять следует решение соответствующее типу факторов с большим числом оставшихся доводов. Например, первый тип факторов «За» соответствует решению «производить предмет», а второй тип факторов «Против» – «закупать предмет». Вначале зафиксировано восемь факторов первого типа и шесть факторов второго типа. В результате качественной оценки значимости исходных факторов «За» и «Против» осталось два фактора «За» и три фактора «Против», значит надо принять решение «закупать предмет».

Рейтинговые системы также применимы для принятия однозначного решения из двух возможных альтернатив по принципу «делать или не делать». Наиболее простой способ заключается в оценке альтернатив в выбранной балльной шкале и выборе из них более предпочтительной.

Задачу МОВ можно рассматривать как однокритериальную оптимизационную задачу. Постановка однокритериальных оптимизационных задач принятия решения о необходимости собственного изготовления востребованных предметов или организации закупки их у сторонних производителей и методы их решения на примерах определения номенклатуры закупаемых и производимых собственным инструментальным производством машиностроительного предприятия инструментов рассмотрена, например, в работе [8].

Вначале выполнена постановка задачи определения источников удовлетворения потребных предприятию количеств инструментов закупаемых у возможных внешних поставщиков (инструментальные заводы, промышленные предприятия, имеющие собственное инструментальное производство – смежники, посредники) и изготавливаемых собственным инструментальным производством в условиях наличия данных о цене и соотношении цена/качество каждого закупаемого или изготавливаемого типоразмера различных видов инструментов.

Целевой функцией задачи является достижение минимальной величины суммы соотношений цена/качество каждого j -го типоразмера i -го вида инструмента при удовлетворении потребностей P_{ij} данного предприятия в инструментах – C_{ω} . Ограничены возможные для закупки и собственного изготовления количества j -ых типоразмеров i -ых видов инструментов. Сумма закупаемых у внешних поставщиков и изготавливаемых собственным инструментальным производством количеств j -ых типоразмеров i -ых видов инструментов должна быть равной имеющим место потребностям данного предприятия P_{ij} .

Предложен алгоритм решения поставленной задачи в виде задачи прямого счета, реализация которого обеспечивает достижение заданной целевой функции, определение оптимальных источников удовлетворения потребностей данного предприятия в инструмен-

тах P_{ij} и количеств j -ых типоразмеров i -ых видов инструментов по каждому источнику.

Если в рассмотренной постановке задачи вместо ограниченных возможных для закупки количеств j -ых типоразмеров i -ых видов инструментов ограничить объемы закупок по видам инструментов у каждого внешнего поставщика в денежном выражении, то алгоритм нахождения оптимального решения такой задачи будет комбинаторного вида и его следует строить на основе метода линейного программирования.

В условиях отсутствия данных о функциональных показателях качества инструментов в качестве целевой функции поставленной выше задачи предложено рассматривать минимизацию общих затрат на удовлетворение потребностей предприятия в инструментах. Логика построения алгоритма нахождения возможного варианта оптимального решения такой задачи аналогична логике, реализованной в алгоритме поставленной выше задачи.

В целях сокращения размерности этой задачи, приняв допущение о поставке конкретных типоразмеров инструментов различными инструментальными заводами по единым ценам, и различными смежниками, посредниками тоже по единым ценам, в работах [5, 6] поставлена очередная задача определения оптимальных источников удовлетворения потребных предприятию количеств инструментов из трех источников (собственное инструментальное производство, инструментальный завод и смежник). Алгоритм решения сформулированной задачи рекомендовано строить на основе метода линейного программирования.

Затем, сделав допущение о возможности формирования номенклатуры поставок инструмента смежниками путем выборки из номенклатуры собственного производства инструмента, представлена постановка задачи определения оптимальных источников удовлетворения потребных предприятию количеств инструментов из двух источников (собственное инструментальное производство и инструментальный завод). Предложен алгоритм решения поставленной задачи в виде задачи прямого счета, реализация которого обеспечивает достижение заданной целевой функции – минимизации общих затрат на удовлетворение потребностей предприятия в инструментах.

Модель многокритериальной задачи удовлетворения потребностей предприятия в инструментах.

Качественную постановку многокритериальной задачи формирования оптимального плана удовлетворения потребностей предприятия в инструментах сформулируем следующим образом.

Пусть на установленный горизонт планирования известна потребность предприятия в различных типоразмерах разных видов инструментов. Возможны три источника удовлетворения потребности предприятия в инструментах: инструментальные заводы, предприятия-смежники и изготовление инструмента предприятием.

Известны также цены каждого типоразмера различных видов инструментов, который можно получить со стороны и цена собственного изготовления. Объемы поставок от инструментальных заводов и предприятий-смежников на виды инструментов ограничен в денежных ресурсах. По номенклатуре инструментов (в штуках по типоразмерам) поставки могут быть ограничены возможностями поставщиков (инструментальных заводов и предприятий смежников).

Необходимо составить такой план удовлетворения потребности предприятия в инструментах, который обеспечил бы достижение экстремальных значений установленных критериев оптимизации при наличии ограничений по номенклатуре и объемам поставок.

В качестве критериев в данной задаче целесообразно рассматривать величину затрат на удовлетворение потребностей предприятия в инструментах в денежном выражении, величины трудоёмкости и материалоемкости собственного изготовления инструментов.

Формализованную постановку рассматриваемой задачи представим в виде многокритериальной модели следующего вида.

Введем обозначения:

i – виды инструмента ($i = 1, \dots, n$);

j – типоразмер инструмента в пределах вида ($j = 1, \dots, k$);

p_{ij} – потребность предприятия в j -ом типоразмере i -ого инструмента, шт;

x_{ij} – количество j -ого типоразмера i -ого вида инструмента, поступающего от инструментальных заводов, шт;

y_{ij} – количество j -ого типоразмера i -ого вида инструмента, поступающего от предприятий-смежников, шт;

z_{ij} – количество j -ого типоразмера i -ого вида инструмента собственного производства, шт;

l_{ij} – цена j -ого типоразмера i -ого вида инструмента, поступающего от инструментальных заводов, руб.;

k_{ij} – цена j -ого типоразмера i -ого вида инструмента, поступающего от предприятий-смежников, руб.;

s_{ij} – цена j -ого типоразмера i -ого вида инструмента собственного производства, руб.;

m_{ij} – норма расхода материала на изготовление j -ого типоразмера i -ого вида инструмента собственным производством, кг;

t_{ij} – норма времени выполнения работ по изготовлению j -ого типоразмера i -ого вида инструмента, час/шт;

C_x – объем средств, выделенных для приобретения инструмента у инструментальных заводов, руб.;

C_y – объем средств, выделенный для приобретения инструмента у предприятий-смежников, руб.;

$X_{max_{ij}}$ – количество j -ого типоразмера i -ого вида инструмента, которое могут поставить инструментальные заводы, шт;

$Y_{max_{ij}}$ – количество j -ого типоразмера i -ого вида инструмента, которое могут поставить предприятия-смежники, шт.

Критериями задачи являются:

C_c – величина денежных затрат предприятия на приобретение востребованных предприятием типоразмеров инструментов различных видов, руб.;

C_m – величина материалоемкости изготовления инструментов собственным производством предприятия, кг;

C_t – величина трудоемкости изготовления инструментов собственным производством предприятия, нормо-час;

C_Σ – сумма взвешенных нормированных значений названных выше критериев.

Требуется определить такие x_{ij} , y_{ij} и z_{ij} , которые бы обеспечили минимальное значение каждого из названных выше критериев, а именно:

$$\min_{x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}} C_c = \min_{x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (l_{ij}x_{ij} + k_{ij}y_{ij} + s_{ij}z_{ij}), \quad (1)$$

$$\min_{z_{ij}} C_m = \min_{z_{ij}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (m_{ij}z_{ij}), \quad (2)$$

$$\min_{z_{ij}} C_t = \min_{z_{ij}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (t_{ij}z_{ij}). \quad (3)$$

При следующих ограничениях:

$$x_{ij} \geq 0, y_{ij} \geq 0, z_{ij} \geq 0, m_{ij} \geq 0, t_{ij} \geq 0: \forall i, j; \quad (4)$$

$$x_{ij} \leq X_{\max_j}, \forall i, j; \quad (5)$$

$$y_{ij} \leq Y_{\max_j}, \forall i, j; \quad (6)$$

$$x_{ij} + y_{ij} + z_{ij} = p_{ij}: \forall i, j; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} l_{ij} \leq C_x; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij} k_{ij} \leq C_y. \quad (9)$$

Нахождение решения представленной многокритериальной модели (1) – (9) возможно при соблюдении ряда условий [11, 12]. Во-первых, поскольку установленные частные критерии имеют различные единицы измерения (рубли, килограммы, норма-часы), то вначале необходимо избавиться от размерности каждого критерия. Во-вторых, результаты вычислений по каждому частному критерию должны принадлежать интервалу 0 – 1. В-третьих, многокритериальную модель следует преобразовать в однокритериальную модель, применив для этого один из возможных известных способов.

Адекватным способом преобразования данной многокритериальной модели в однокритериальную модель является представление ее с глобальным критерием в виде суммы взвешенных нормированных значений названных выше частных критериев. Нормирование частных критериев следует осуществить делением получаемых в процессе решения значений частных критериев на предельные (максимально возможные) их значения ($C_{cMAX}, C_{mMAX}, C_{tMAX}$). Это позволит соблюсти первые два необходимые условия. Сумма коэффициентов весов частных критериев $\alpha_i, i=1,2,3$ должна быть равной единице.

Тогда однокритериальную модель можно представить в следующем виде.

Требуется определиться такие x_{ij}, y_{ij} и z_{ij} , которые бы обеспечили минимальное значение глобального критерия, а именно:

$$\min_{x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}} C_{\Sigma} = \alpha_1 \frac{C_c}{C_{cMAX}} + \alpha_2 \frac{C_m}{C_{mMAX}} + \alpha_3 \frac{C_t}{C_{tMAX}}, \quad (10)$$

$$\alpha_i \geq 0; \sum_1^3 \alpha_i = 1. \quad (11)$$

Для нахождения оптимального решения по данной однокритериальной линейной модели следует применять методы решения задач линейного программирования, а именно: симплекс-метод.

Полученные результаты.

На основе использования пакета прикладных программ Microsoft Excel разработан программный продукт формирования оптимальных планов удовлетворения годовой потребности предприятия в инструментах.

Среда программы Microsoft Excel дает возможность проведения анализа и исследования баз данных для получения объективной оценки финансово-экономической деятельности предприятий. Для этих целей в Microsoft Excel предусмотрены соответствующие надстройки – дополнительно подключаемые программы, которые также входят в состав табличного процессора Microsoft Excel. При отсутствии в базовой версии Microsoft Excel их можно установить, скачав с соответствующих интернет ресурсов. Файлы с надстройками имеют расширение .xla. Для решения задач линейного программирования наиболее подходит надстройка «Поиск решения». Данная надстройка присутствует в Microsoft Excel 2003 и более поздних версиях и является мощным средством поиска решений и применяется при решении задач оптимизации. Процедура поиска решения позволяет находить оптимальное значение формулы, содержащейся в ячейке, которую называют целевой. Процедура работает с группой ячеек, прямо или косвенно связанных с формулой в целевой ячейке. Возможности данной надстройки ограничиваются общими возможностями Microsoft Excel, поэтому объем баз данных составляет в зависимости от версии Microsoft Excel от 65 536 до 1 048 577 строк. Системные требования к программе:

процессор – частота от 233 МГц;

оперативная память – объем от 128 Мб;

жесткий диск: свободное место – не менее 260 Мб.

С помощью данной надстройки разработанный программный продукт формирования планов удовлетворения годовой потребности предприятия в инструментах позволяет осуществить решение трех однокритериальных оптимизационных задач по критериям: величина

денежных затрат предприятия на приобретение востребованных типоразмеров инструментов различных видов, величина материалоёмкости и величина трудоёмкости изготовления инструментов собственным производством предприятия.

Кроме этого, разработанный программный продукт осуществляет решение и многокритериальной задачи оптимизации по трем вышеуказанным критериям, представленным в виде глобального критерия – суммы взвешенных нормированных значений названных выше критериев. При этом изменяя весовые коэффициенты нормированных критериев можно управлять значимостью каждого из этих критериев в ходе решения задачи, возможно также варьирование размерами поставок, суммами на приобретение различных видов инструментов с целью формирования множества вариантов планов удовлетворения годовой потребности предприя-

тия в инструментах и выбора из них наиболее адекватного в сложившихся условиях хозяйственной деятельности. То есть, получить ответ на вопрос «А что будет, если ...?» традиционно реализуемый имитационным моделированием [13, 14, 15]. Применение данного программного продукта также возможно и в обучающих системах, например, в деловых играх.

Исходные данные и результаты решения рассмотренных выше оптимизационных задач формирования планов удовлетворения годовой потребности предприятия в инструментах фиксируются в виде таблиц Excel, содержащих набор данных, формируемых пользователем. В качестве примера исходные данные и результаты решения двух рассмотренных выше оптимизационных задач представлены в приведенных ниже табл. 1, 2, 3.

Таблица 1

Исходные данные для задачи оптимизации
Initial data for the optimization problem

№ п/п	Наименование, инструмента, типоразмер	Годовая потребность, шт	Трудоёмкость, ч/шт	Материалоёмкость, кг/шт	Цены за штуку, руб			Возможный размер поставки за год, шт			Максимальная сумма на приобретение, руб		Вариант
					Собственное производство	Инструментальные заводы	Предприятия смежники	Собственное производство	Инструментальные заводы	Предприятия смежники	Инструментальные заводы	Предприятия-смежники	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Резец ток. Прох. уп. 20	2000	1,7	1,35	368,0	281,6	320	2000	900	550	3094545	2536699	11
2	Резец ток. Прох. уп. 25	2100	1,6	1,6	207,0	158,4	180	2100	950	600			
3	Резец ток. Прох. уп. 20	2100	1,6	1,555	182,9	139,9	159	2100	950	600			
4	Резец ток. Прох. уп. 20	2000	1,7	1,4	253,0	193,6	220	2000	900	550			
5	Резец ток. Прох. уп. 25	1600	1,5	1,5	161,0	123,2	140	1600	700	450			
6	Резец ток. Прох. уп. 32	400	2,5	1,8	368,0	281,6	320	400	500	250			
7	Резец ток. Прох. уп. 32	2500	2	1,8	316,3	242,0	275	2500	1100	700			
8	Резец ток. Прох. уп. 32	800	1,8	1,7	391,0	299,2	340	800	400	200			
9	Резец ток. Прох. уп. 32	1700	1,7	1,7	503,7	385,4	438	1700	800	500			
10	Фреза торцевая	200	4,8	2,6	862,5	660,0	750	200	300	100			
11	Фреза торцевая	600	7	3	1092,5	836,0	950	600	350	200			
12	Фреза торцевая	500	5,6	2,7	1897,5	1452,0	1650	500	250	150			
13	Фреза торцевая	450	5,9	2,8	2875,0	2200,0	2500	450	200	100			
14	Фреза торцевая	550	7,1	3,3	2875,0	2200,0	2500	550	250	150			
15	Фреза торцевая	300	6,9	3,5	2846,3	2178,0	2475	300	150	100			

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
16	Фреза торцевая	500	8	3,4	2846,3	2178,0	2475	500	250	150			
17	Сверло 0,13	3000	7	0,12	11,4	8,7	9,9	3000	1300	850			
18	Сверло 0,35	3000	6,8	0,1	11,4	8,7	9,9	3000	1400	850			
19	Сверло 1	1900	5	0,3	6,3	4,8	5,5	1900	800	500			
20	Сверло 1,5	1600	4,3	0,2	10,1	7,7	8,8	1600	700	450			

Таблица 2

Оптимальный план по затратам

The optimal plan cost

№ п/п	Наименование, инструмента, типоразмер	Годовая потребность, шт	Количество инструментов для закупки, шт			Всего инструментов купить, шт	Потрачено денежных ресурсов, руб		
			Собственное производство	Инструментальные заводы	Предприятия смежники		Собственное производство	Инструментальные заводы	Предприятия смежники
1	Резец ток. Прох. уп. 20	2000	597	853	550	2000	219696	240204,8	176000
2	Резец ток. Прох. уп. 25	2100	1500	0	600	2100	310500	0	108000
3	Резец ток. Прох. уп. 20	2100	2059	31	10	2100	376488,15	4337,52	1590
4	Резец ток. Прох. уп. 20	2000	559	900	541	2000	141427	0	119020
5	Резец ток. Прох. уп. 25	1600	1584	16	0	1600	255024	1971,2	0
6	Резец ток. Прох. уп. 32	400	6	144	250	400	2208	40550,4	80000
7	Резец ток. Прох. уп. 32	2500	2499	0	1	2500	790308,75	0	275
8	Резец ток. Прох. уп. 32	800	200	400	200	800	78200	119680	68000
9	Резец ток. Прох. уп. 32	1700	400	800	500	1700	201480	308352	219000
10	Фреза торцевая	200	0	100	100	200	0	66000	75000
11	Фреза торцевая	600	50	350	200	600	54625	292600	190000
12	Фреза торцевая	500	100	250	150	500	189750	363000	247500
13	Фреза торцевая	450	150	200	100	450	431250	440000	250000
14	Фреза торцевая	550	150	250	150	550	431250	550000	375000
15	Фреза торцевая	300	50	150	100	300	142312,5	326700	247500
16	Фреза торцевая	500	208	142	150	500	592020	309276	371250
17	Сверло 0,13	3000	880	1270	850	3000	10018,8	11064,24	8415
18	Сверло 0,35	3000	1679	1321	0	3000	19115,415	11508,552	0
19	Сверло 1	1900	1073	800	27	1900	6786,725	3872	148,5
20	Сверло 1,5	1600	900	700	0	1600	9108	5420,8	0
Итого							2536698,5		
							9892804,35		

Таблица 3

Оптимальный план по трем критериям
Optimal plan according to three criteria

№ п/п	Наименование инструмента, типоразмер	Годовая потребность, шт	Количество инструментов для закупки, шт			Всего инструментов купить, шт	Потрачено денежных ресурсов, руб.			Трудоёмкость, ч/шт	Материалоемкость, кг/шт
			Собственное производство	Инструментальные заводы	Предприятия смежники		Собственное производство	Инструментальные заводы	Предприятия смежники		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Резец ток. Прох. уп. 20	2000	550	900	550	2000	202400	253440	176000	935	742,5
2	Резец ток. Прох. уп. 25	2100	1492	12	596	2100	308844	1900,8	107280	2387,2	2387,2
3	Резец ток. Прох. уп. 20	2100	2100	0	0	2100	383985	0	0	3360	3265,5
4	Резец ток. Прох. уп. 20	2000	1451	0	549	2000	367103	0	120780	2466,7	2031,4
5	Резец ток. Прох. уп. 25	1600	1600	0	0	1600	257600	0	0	2400	2400
6	Резец ток. Прох. уп. 32	400	0	195	205	400	0	54912	65600	0	0
7	Резец ток. Прох. уп. 32	2500	2474	16	10	2500	782402,5	3872	2750	4948	4453,2
8	Резец ток. Прох. уп. 32	800	200	400	200	800	78200	119680	68000	360	340
9	Резец ток. Прох. уп. 32	1700	400	800	500	1700	201480	308352	219000	680	680
10	Фреза торцевая	200	0	100	100	200	0	66000	75000	0	0
11	Фреза торцевая	600	50	350	200	600	54625	292600	190000	350	150
12	Фреза торцевая	500	100	250	150	500	189750	363000	247500	560	270
13	Фреза торцевая	450	150	200	100	450	431250	440000	250000	885	420
14	Фреза торцевая	550	150	250	150	550	431250	550000	375000	1065	495
15	Фреза торцевая	300	169	31	100	300	481016,25	67518	247500	1166,1	591,5
16	Фреза торцевая	500	100	250	150	500	284625	544500	371250	800	340
17	Сверло 0,13	3000	850	1300	850	3000	9677,25	11325,6	8415	5950	102
18	Сверло 0,35	3000	750	1400	850	3000	8538,75	12196,8	8415	5100	75
19	Сверло 1	1900	1851	4	45	1900	11707,575	19,36	247,5	9255	555,3
20	Сверло 1,5	1600	475	675	450	1600	4807	5227,2	3960	2042,5	95
Итого							4489261,325	3094543,76	253669,7,5	44710,5	44710,5
							10120502,6				

Заключение. Следует применять адекватно имеющим место на машиностроительных предприятиях реальным условиям предлагаемый авторами метод формирования оптимальных планов удовлетворения потребностей в инструментах, заключающийся в решении многокритериальной оптимизационной задачи, и его программную реализацию, а также названные известные способы решения задачи МОВ в целях минимизации затрат финансовых, материальных и трудовых ресурсов на инструментообеспечение предприятий.

Библиографический список

1. Логистика: учеб. пособие / Б.А. Аникин [и др.]; под ред. Б.А. Аникина, Т.А. Родкиной. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008.
2. Бауэрсокс Д. ДЖ., Клосс Д. Дж. Логистика. Интегрированная цепь поставок. М.: Олимп-бизнес, 2001.
3. Stock R., Lambert M. Douglas. Strategic Logistics Management. McGraw-Hill, Irwin, 2001.
4. Неруш Ю.М. Логистика: учеб. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008.
5. Волочиенко В.А. Методы решения задачи «сделать или купить» / Журнал: Вестник

университета (Государственный университет управления). 2013. №18. С. 97-101..

6. Чейз Ричард Б., Эквилайн Николас ДЛ., Якобс Роберт Ф. Производственный и операционный менеджмент / Пер. с англ. 10-е изд. М.: Издат. Дом «Вильямс», 2007.

7. Доусон Р. Уверенно принимать решения: Как научиться принимать правильные решения в бизнесе и жизни / Пер. с англ. и предисловие Д.Л. Стровского. – М.: Культура и спорт. ЮНИТИ, 1996.

8. Волочиенко В.А. Однокритериальные модели задачи «сделать или купить» / Журнал объединения контроллеров «Контроллинг», 2013, № 4 (49), с. 32-39.

9. Волочиенко В.А. Распознавание, оптимизация по А.Горелику / В научно-техническом сборнике: Вопросы оборонной техники. Серия 3. Экономика, организация и управление в оборонной промышленности. Системный анализ и информационные технологии в управлении и принятии решений. – 2013. – Вып. 1 (374). – 76 стр. С. 16 – 23.

10. Фалько С.Г., Волочиенко В.А., Васильев С.В. Контроллинг: подготовка управленческих решений в реальном масштабе времени. – М.: НП «Объединение контроллеров», 2019.

11. Э.А. Трахтенгерц Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». – М. СИНТЕГ, 1998.

12. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств. – М. Советское радио, 1975.

13. Имитационное моделирование : учебное пособие / Ю.А. Кораблев. – Москва : КНОРУС, 2017.

14. Имитационное моделирование : учебник и практикум для академического бакалавриата. / Л.Ф. Вьюненко, М.В. Михайлов, Т.Н. Первозванская : под ред. Л.Ф. Вьюненко. – М. : Изд-во Юрайт, 2016.

15. Моделирование систем : учебник для академического бакалавриата. / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 7-е изд. – М. : Изд-во Юрайт, 2015.

Поступила в редакцию – 30 сентября 2019 г.

Принята в печать – 15 октября 2019 г.

References

1. Logistics: studies. aid / B. A. Anikin [and others]; under the editorship of B. A. Anikin, V. A. Rodkina. - M.: TK Welby, publishing house Prospect, 2008.
2. Bowersox D. J., Kloss D. J. Logistics. Integrated supply chain. Moscow: Olymp-business, 2001.
3. R. Stock, Douglas M. Lambert. Strategic Logistics Management. McGraw-Hill, Irwin, 2001.
4. Yuri Nerush M. logistics: textbook. - 4th ed., reprint and additional-M.: TK Welby, Prospect Publishing house, 2008.
5. Volochienko V. A. Methods of solving the problem "make or buy" / Journal: Vestnik universiteta (State University of management). 2013. No. 18. Pp. 97-101..
6. Chase Richard B., Equiline Nicholas DL., Jacobs Robert F. Production and operational management. 10th ed. Moscow: Izdat. House "Williams", 2007.
7. Dawson R. Confidently make decisions: how to learn to make the right decisions in business and life. and a Foreword by D. L. Strov. - Moscow: Culture and sport. UNITY, 1996.
8. Volochienko V. A. single-Criteria models of the problem "make or buy" / Journal of the Association of controllers "Controlling", 2013, № 4 (49), pp. 32-39.
9. Volochienko V. A. Recognition, optimization by A. Gorelik / in the scientific and technical collection: Issues of defense technology. Series 3. Economics, organization and management in the defense industry. System analysis and information technologies in management and decision-making. - 2013. - Vol. 1 (374). - 76 p. P. 16-23.
10. Falco S. G., Volochienko V. A., Vasiliev S. V. Controlling: preparation of management decisions in real time. - Moscow: NP "Association of rollers", 2019.
11. E. A. trachtenherz Computer support of decision-making: Scientific and practical edition. Series "Informatization of Russia on the threshold of the XXI century". - M. SINTEG, 1998.
12. Gutkin L. S. Optimization of radioelectronic devices. - M. Soviet radio, 1975.
13. Simulation modeling : tutorial / Y. A. Korablev. - Moscow: KNORUS, 2017.
14. Simulation modeling : tutorial and workshop for academic bachelor degree. / L. F. Vyunenko, M. V. Mikhailov, T. N. Pervozvanskaya: edited by L. F. Vyunenko. - Moscow: yurayt Publishing house, 2016.
15. Systems modeling: a textbook for the academic undergraduate. / B. Y. Soviets, S. A. Yakovlev. - 7th ed. Moscow: yurayt Publishing house, 2015.

Received – 30 September 2019.

Accepted for publication – 15 October 2019.