



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ КОМПОНОВКИ ПЕРЕДВИЖНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Р.Р. Аблаев, доц., канд. экон. наук,
e-mail: Ablaev.expert@mail.ru
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»

А.Р. Аблаев, доц., канд. техн. наук,
e-mail: alim_ablaev@mail.ru
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»

В статье рассмотрена одна из важных и сложных задач при проектировании передвижных механизированных объектов – выбор оптимальной ресурсоэффективной компоновки. Авторами представлен анализ целевых функций, которые применяются для оптимизации компоновки механизированных комплексов. Проведенный анализ позволил разработать и обосновать наиболее оптимальный вид целевой функции, который учитывает специфику функционирования передвижных механизированных объектов. В статье предлагается схема решения этой сложной задачи, а также описаны применяемые технические ограничения решения задачи компоновки с учетом функциональных особенностей передвижных механизированных комплексов. Использование на практике предложенного в статье алгоритма позволит значительно снизить трудоемкость выбора оптимального варианта компоновки передвижных механизированных комплексов из числа множества сгенерированных, а также сократить капитальные материальные затраты на его проектирование.

Ключевые слова: компоновка, передвижной механизированный комплекс, оптимизация, целевая функция, автоматизация.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс компоновки производства технологическим оборудованием является весьма трудоемким процессом в задачах проектирования или в модернизации механизированных объектов. Это обусловлено в первую очередь наличием множества вариантов компоновочных решений в зависимости от применяемых технологических процессов. Процесс компоновки передвижных механизированных комплексов состоит из решения множества задач, таких как определение габаритов проектируемого объекта, определение площадок обслуживания, размещение основного и вспомогательного технологического оборудования и т.д. Принятый на стадии проектирования вариант компоновочных решений оказывает существенное влияние на процесс эксплуатации оборудования, определяет величину капитальных затрат при создании передвижного механизированного комплекса, а также влияет на величину эксплуатационных затрат в процессе функционирования оборудования. Другими словами, от качественного решения компоновочных задач во многих случаях зависит эффективность эксплуатации механизированных объектов [8, 10].

Существенный вклад в развитие методологии проектирования механизированных объектов и, в частности, этапа компоновки технологического оборудования внесли зарубежные и отечественные ученые [1 – 9]. Однако вопрос компоновки производственных систем остается малоизученным, поскольку в своих работах авторы освещают в большей части требования, которые предъявляются к размещению производственного оборудования без рас-

крытия конкретной методики. Также остается малоизученным вопрос оптимизации компоновки передвижных механизированных объектов. Поэтому возникает необходимость разработки алгоритма оптимизации компоновки технологическим оборудованием механизированного объекта.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования настоящей статьи является процесс оптимизации компоновки технологическим оборудованием передвижных механизированных комплексов.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования является разработка алгоритма оптимизации компоновки технологическим оборудованием передвижного механизированного комплекса.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- провести анализ этапов решения задачи компоновки передвижных механизированных объектов;
- обосновать выбор целевой функции оптимизации;
- сформулировать задачу оптимальной компоновки передвижных механизированных объектов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При решении поставленных на исследование в статье задач были применены методы исследования, которые включают в себя анализ и обобщение результатов теоретических исследований, методы системного подхода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс оптимизации компоновки механизированного объекта является сложной, многоуровневой, итерационной процедурой принятия проектных решений. Многие ученые [1 – 10] ее относят к классу NP-полных задач математического программирования. Усложняется этот процесс, когда проектируемый механизированный объект критично ограничен как площадью, так и объемом, например, как при проектировании передвижных механизированных комплексов [1, 3].

Наиболее целесообразным путем снижения трудоемкости реализации процесса проектирования оптимального варианта компоновки передвижного механизированного комплекса, является представление его как сложной системы, которая состоит из ряда взаимосвязанных задач меньшей размерности и которые возможно исследовать самостоятельно. Это позволит снизить размерность итераций при выборе оптимального варианта решения задачи [1]. В связи с чем, решать задачу компоновки мы предлагаем по схеме, представленной на рис. 1.

При этом, с математической точки зрения, задача размещения единиц оборудования формулируется как оптимизационная задача, состоящая из следующих этапов:

- выбор целевой функции;
- выбор переменной AP_i ;
- выбор и формализация ограничений.

Основная сложность в постановке задач эффективной компоновки заключается в выборе целевой функции. Это связано в первую очередь с большим количеством критериев оптимальности механизированного объекта, на основе которых формулируется целевая функция [8]. Часто в практике проектирования механизированного объекта основным критерием оптимизации компоновки является оптимизация коэффициента заполнения пространства (коэффициент плотности компоновки) (1):

$$K_V = \sum_{i=1}^n V_i / V_{отс}, \quad (1)$$

где V_i – объем i -го оборудования;

n – количество единиц оборудования;

$V_{отс}$ - объем производственного помещения, в котором производится компоновка.

Тогда ЦФ имеет следующий вид (2):

$$\begin{cases} ExtrV(AP_i); \\ K_V \rightarrow 1 \\ AP_i \cup S_M. \end{cases} \quad (2)$$

где S_M - область размещения.

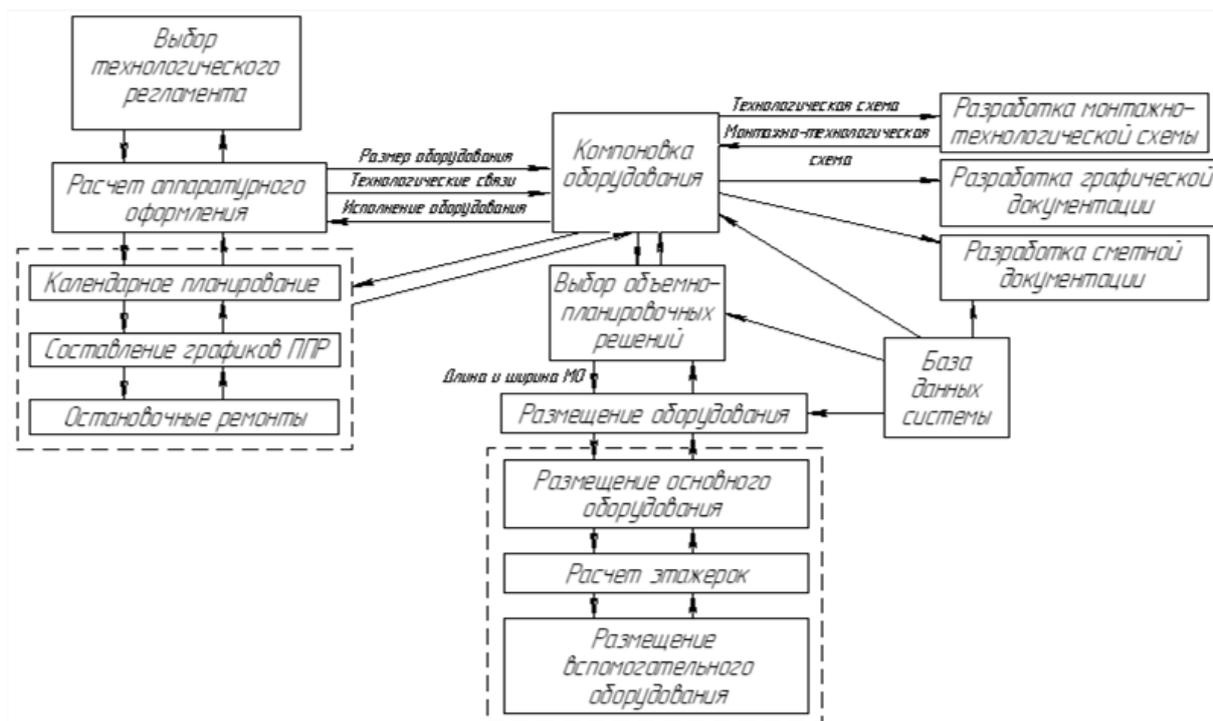


Рисунок 1 – Схема решения задачи компоновки

Представленная целевая функция выражает собой пожелания приблизить объем скомпонованных объектов к общему объему производственного помещения [10]. Однако она не является достаточно рациональной для проведения дальнейших компоновочных расчетов. По нашему мнению, коэффициент плотности компоновки необходимо использовать при выборе оптимальных компоновочных решений по укрупненным показателям на начальном этапе оптимизации для сокращения количества вариантов компоновки.

В работах [5, 7] авторами предложена целевая функция, представляющая собой технико-экономический критерий в виде приведенных затрат на проектируемый объект (3):

$$P^* = \min_{K,A} \Pi_i(K_i, A_i) = \min \{ [\sum_{i=1}^N K_{ai} + \sum_{i=1}^N C_{ai} + \sum_{i=1}^N C_{ki}] * E_H + \sum_{i=1}^N A_i \}, \quad (3)$$

где K_i – приведенные затраты, которые состоят из K_{ai} ;

K_{ai} – стоимость i -го оборудования;

C_{ai} – стоимость монтажа i -го оборудования;

C_{ki} – стоимость строительных конструкций производственных помещений под оборудованием;

A_i – амортизационные отчисления для i -го оборудования;

E_H – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений;

N – общее число оборудования.

Однако данный критерий не учитывает особенности функционирования единиц оборудования, в частности такой важный параметр, как производительность. Это можно учесть только путем прогнозирования доходов, которые получит предприятие в будущих периодах при эксплуатации оборудования. Поэтому целесообразно предложить следующий вид целевой функции (4):

$$\text{ЦФ} = \max (B^*/\Pi^*), \quad (4)$$

где $B^* = \sum_{i=1}^N \text{ПТ}_i$ – сумма производительностей оборудования.

Предложенная целевая функция учитывает главную цель проектирования и производства механизированного объекта – получение экономического (в том числе и технического) эффекта от проекта.

Тогда задача компоновки механизированного объекта формулируется следующим образом (2):

$$\text{argmax} \{ \text{ЦФ}(h), h \in H = m(D) \}, \quad (5)$$

где $h = (AP, CK, M)$ – вариант компоновки;

$AP = \{AP_i, i = 1, N\}$ – вариант размещения оборудования;

$CK = (X_C, Y_C, Z_C)$ – вариант строительной конструкции производственных помещений;

AP_i – совокупность параметров, описывающих информацию об оборудовании с номером i ;

N – общее число оборудования механизированного оборудования в производственных помещениях;

$M = \{M_i, i = 1, N\}$ – вариант металлоконструкций под оборудование;

H – множество допустимых вариантов компоновки;

$D = D_{AP} * D_{CK} * D_M$ – множество всех возможных вариантов компоновки;

m – аналитическая модель проектного решения.

Исходными данными для задачи компоновки будут являться:

– информация об оборудовании механизированного объекта (6):

$$AP = \{AP_i = (x_{AP_i}, y_{AP_i}, z_{AP_i}, l_{AP_i}^x, l_{AP_i}^y, l_{AP_i}^z, m_{AP_i}), i = 1, N\}, \quad (6)$$

где $x_{AP_i}, y_{AP_i}, z_{AP_i}$ – координаты расположения оборудования на производственном помещении;

$l_{AP_i}^x, l_{AP_i}^y, l_{AP_i}^z$ – размеры параллелепипеда, описывающего i -ю единицу оборудования по осям;

m_{AP_i} – вес i -го оборудования.

– информация о структуре технологических связей между подсистемами компоновки;

– информация о габаритных размерах производственного помещения (7):

$$S_M = (X_C, Y_C, Z_C), \quad (7)$$

где X_C – длина помещения;

Y_C – ширина помещения;

Z_C – высота помещения;

При постановке задачи оптимизации компоновки нами рекомендуются следующие ограничения:

– ограничение на предельно допустимые размеры производственного помещения (8):

$$\begin{cases} X_C^{min} \leq X_C \leq X_C^{max}; \\ Y_C^{min} \leq Y_C \leq Y_C^{max}; \\ Z_C^{min} \leq Z_C \leq Z_C^{max}. \end{cases} \quad (8)$$

– унификация строительных элементов производственного помещения (его кратность);

– размещение оборудования внутри производственного помещения (9):

$$K(A_i) \in K(X_C, Y_C, Z_C), \forall i = 1, N. \quad (9)$$

– наличие зон для ремонта и обслуживания оборудования (10):

$$C_i^{обсл}, i = 1, N. \quad (10)$$

– обеспечение требуемого расстояния между оборудованием (11):

$$\rho(A_i, A_k) \geq [\rho_{min}]_{jk}, i \neq k. \quad (11)$$

– фиксированное расположение отдельных единиц оборудования (12):

$$x_j = const \cup y_j = const \cup z_j = const, \forall j \in A^\Phi. \quad (12)$$

– обеспечение требуемого расстояния между оборудованием и элементами строительных конструкций производственного помещения (13):

$$\rho(A_i, CK) \geq [\rho_{min}]_i, i = 1, 2, \dots, I. \quad (13)$$

– отсутствие пересечений единиц оборудования друг с другом (14):

$$K(A_{i1}) \cap K(A_{i2}) = 0; i1, i2 = 1, \dots, N; i1 \neq i2. \quad (14)$$

– отсутствие пересечений единиц оборудования с элементами строительных конструкций производственного помещения (15):

$$K(A_i) \cap K(CK_j) = 0; j = 1, \dots, J_{кон}; i = 1, \dots, N. \quad (15)$$

Таким образом, выражения (4) – (15) представляют собой математическую постановку задачи оптимизации компоновки механизированного объекта. Отсутствие большого количества ограничений позволит использовать различные множества альтернативных решений для получения наиболее рациональных вариантов компоновки. В связи с этим, процесс оптимизации компоновки элементов связан с выбором стратегии размещения элементов, т.е. с поиском и определением последовательности операций алгоритма решения поставленной задачи. Перспективой дальнейших исследований является практическое применение предложенной методики для оптимизации структуры проектируемого передвижного механизированного комплекса [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый в работе алгоритм компоновки механизированных объектов позволит за короткий промежуток времени произвести выбор наиболее оптимального варианта компоновки из числа множества сгенерированных, учитывая при этом все ограничения, предъявляемые к механизированному объекту, что обеспечит снижение материало- и энергозатрат, а также позволит сократить площадь, отведенную под размещение оборудования, и в результате – капитальные вложения на проектирование (перепроектирование) механизированного объекта.

Перспективой дальнейших исследований в этом направлении является апробация предложенного алгоритма и его реализация в виде программного продукта. Апробация проводится путем решения задачи оптимизации компоновки передвижных механизированных комплексов на базе полуприцепов-фургонов [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблаев, А. Р. Критерии эффективности оборудования (элементов систем) / А. Р. Аблаев // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. – 2019. – №4-1(336). – С. 59-65.
2. Аблаев, Р. Р. Оптимизация функционирования предприятий автосервиса как путь повышения их финансовой устойчивости / Р. Р. Аблаев, А. Р. Аблаев // *Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве»*. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2019. – С. 201.1 – 201.3. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38188876_77246987.pdf (дата обращения: 10.01.2020).
3. Аблаев, Р. Р. Перспективы использования передвижных механизированных комплексов как основа расширения рынка услуг по ремонту и техническому обслуживанию машин и сооружений / Р. Р. Аблаев // *Вестник молодежной науки*. – 2018. – №1 (13). [Электронный ресурс]. – URL: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2018/03/R.-R.-Ablaev-113.pdf> (дата обращения: 10.01.2020).
4. Бакунина, Т. А. Проектирование механосборочных цехов: учеб. пособие / Т. А. Бакунина, Е. В. Тимофеева. – Рыбинск: РГАТА имени П. А. Соловьева, 2011. – 154 с.
5. Егоров, С. Я. Аналитические и процедурные модели компоновки оборудования промышленных производств: монография / С. Я. Егоров. – Москва: Машиностроение-1, 2007. – 104 с.
6. Жуков, Е. М. Компоновочно-технологическое проектирование автоматизированного механообрабатывающего производства деталей энергетического и горнодобывающего комплекса: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Жуков Е. М. – Белгород, 2006. – 197 с.
7. Кафаров, В. В. Проектирование и расчет оптимальных систем технологических трубопроводов / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин. – Москва: Химия, 1991. – 368 с.
8. Митрофанов, В. Г. Задачи размещения и компоновки технологического оборудования / В. Г. Митрофанов, Л. В. Феоктистова // *Вестник МГТУ «Станкин»*. – 2008. – №2. – С. 87-96.
9. *Технология машиностроения: учеб. для вузов: в 2 т. / под ред. Г. Н. Мельникова*. – Москва: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2012. – Т. 2. Производство машин. – 551 с.
10. Усачев, Ю. И. Синтез компоновочных схем механосборочных цехов // *Проблемы Науки*. – 2016. – №6 (48). – С.39-46. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-komponovochnyh-shem-mehanoborochnyh-tsehov> (дата обращения: 10.01.2020).

STATEMENT OF THE PROBLEM OF LAYOUT OF MOBILE MECHANIZED COMPLEXES

R.R. Ablaev, PhD in economics, associate professor,
e-mail: ablaev.expert@mail.ru
Sevastopol State University

A.R. Ablaev, PhD in technical, associate professor,
e-mail: alim_ablaev@mail.ru
Sevastopol State University

The article considers one of the most important and complex tasks in the design of mobile mechanized objects-the choice of an optimal resource-efficient layout. The authors present an analysis of target functions that are used to optimize the layout of mechanized complexes. The analysis made it possible to develop and justify the most optimal type of target function, which takes into account the specifics of the functioning of mobile mechanized objects. The article offers a scheme for solving this complex problem, as well as describes the applied technical limitations of solving the problem of layout, taking into account the functional features of mobile mechanized complexes. Using the algorithm proposed in the article in practice will significantly reduce the complexity of choosing the optimal layout of mobile mechanized complexes from among the many generated ones, as well as reduce capital material costs for its design.

Key words: layout, mobile mechanized complex, optimization, target function, automation.