

## ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА В АПК

Диордиев В. Т., Кашкарёв А. А.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

*Рассмотрена задача оптимального проектирования многоассортиментных производств. Предложен инструмент математического моделирования объекта, описания процесса компоновки и критерий оценки.*

**Постановка проблемы.** Подавляющее большинство хозяйств АПК использует многоассортиментные производства (МАП). Это позволяет обеспечить повысить показатели экономической деятельности: повышение конкурентоспособности за счет расширения ассортимента продукции; технологии безотходного производства; гибкость производителя в зависимости от спроса на рынке и заказов и др. В связи с указанными причинами, а также фондоемкостью производств, непрогнозируемых рисков, которые снижают эффективность функционирования автоматической системы управления (АСУ) и экономической деятельности объекта хозяйствования в целом, необходимо на этапе проектирования обосновать структуру организационных и технических решений.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности функционирования МАП, в том числе и производств с гибкой технологией (комбикорма и добавки к ним, сепарация зерновых и бобовых, хлебобулочные и мясные изделия и др.), является интенсификация использования средств вычислительной техники в процессе проектирования [4]. В частности это касается этапа компоновки оборудования, синтеза АСУ и обоснования ее функциональности. Технологические процессы (ТП) по производству и переработки продукции сельского хозяйства имеют ряд особенностей: периодичность технологии, многостадийность и многоассортиментность производств, сложность химических реакций, широкое использование самотека материальных потоков, совмещенность наработки различных продуктов на одном технологическом оборудовании (ТО) – делают этот этап одним из самых трудоемких в процессе проектирования [3].

Повышение качества проектных работ с одновременным сокращением сроков проектирования возможно только на основе широкого использования современной вычислительной техники в процессе поиска оптимальных проектных решений, что в свою очередь невозможно без разработки моделей, методов и алгоритмов для решения соответствующих задач.

**Анализ источников информации.** Как известно, в АПК большая часть технологических процессов носят дискретный или периодический характер или могут быть представлены, как такие, что позволяет обобщить методику проектирования на этапах компоновки цеха, выбора ТО, а также АСУ ими [3]. Теоретические и практические исследования позволило авторам разработать концепцию совместного выбора ТО и проектирование АСУ технологического комплекса производства комбикормов на основе приня-

той технологической схемы [2, 3, 5]. Полученная методика сетевого представления ТП обеспечивает наглядность выбора оборудования и функциональную гибкость АСУ, что позволило обобщить задачи проектирования организационно-технического обеспечения. Такой подход реализует системный взгляд на компоновку цеха, выбор ТО, разработку АСУ и выбора ее функционального обеспечения.

Дискретную производственную систему как объект управления можно представить (рис. 1) основными компонентами:

- входные переменные  $X = \{x_1, \dots, x_k\}$ , выражающие номенклатуру и ассортимент входных ингредиентов;
- выходные переменные  $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ , определяющие результат функционирования дискретного производства – объем изделий товарного выпуска;
- переменные состояния  $Z = \{z_1, \dots, z_{k+n}\}$ , отражающие количество продуктов производства, имеющих в распоряжении дискретной производственной системы на текущий момент управления;
- возмущения  $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ ;
- переменные управления  $U = \{u_1, \dots, u_p\}$ .

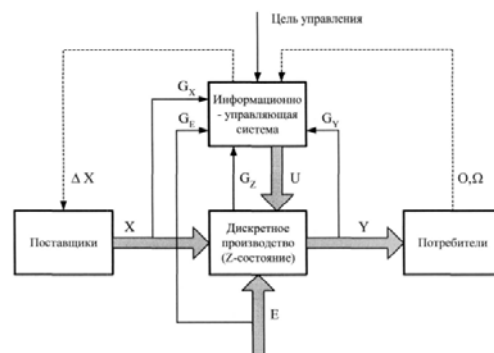


Рисунок 1 – Структура системы управления дискретным производством

Протекание дискретного ТП от момента  $i$  и далее зависит только от состояний производственной системы (ПС) в этот момент времени и последующих значений управления и возмущений и не зависит от того, как ПС пришла в это состояние. Таким образом, состояние ПС в момент  $(i+1)$  зависит только от ее состояния в  $i$ -й момент времени, действия управления и возмущении.

Основная задача АСУ дискретным производством (рис. 1) состоит в реализации управления, направленного на организацию и последующее выполнение производственной программы  $U$  обеспечивающей

устойчивое функционирование и достижение определенной цели дискретного производства - производство продукции  $Y$  в соответствии с запросами потребителя [9]. Выполнение указанной задачи осуществляется информационно-управляющей системой предприятия, выступающей в роли регулятора АСУ дискретным производством и характеризуется [3]:

- 1) каналом управляющего воздействия  $U$ ;
- 2) каналами, по которым собирается информация об объекте управления, необходимая для формирования управляющего воздействия ( $G_x, G_v, G_d, G_v$ ),
- 3) целями управления, выражаемой в виде необходимости изготовления продукции в сроки, указанные потребителем;
- 4) алгоритмом управления, выраженного в задаче закона изменения  $U_i = \Psi(Z_i, E_i, Y_i, X_i)$

При этом процесс функционирования системы управления дискретным производством сводится к реализации алгоритма управления, представляемого в виде последовательного управления (предварительного планирования) дискретным производством, анализа его результатов и поддержание хода процесса и соответствии с запланированным.

Задача управления дискретным производством образуют иерархическую систему, на нижнем уровне которой решаются задачи оптимизации технологических режимов производственных звеньев, а следующие уровни решают задачи оперативной диспетчеризации материальных потоков и задачи предварительного планирования производства.

**Цель статьи.** Поставлена задача обоснования структуры синтеза алгоритма оптимального проектирования организационно-технического обеспечения многоассортиментного производства путем сетевой интерпретации технологического процесса.

**Основные материалы исследований.** Содержательная постановка задачи компоновки может быть сформулирована следующим образом: с учетом всех правил, требований, ограничений и экономической целесообразности определить перечень ТО, его пространственное расположение с заданной структурой технологических связей и такие габариты производственного помещения, при которых затраты содержания проектируемого объекта были бы минимальными, а АСУ обеспечила его наблюдаемость, управляемость и связь с управленческим уровнем предприятия.

Для математической записи задачи оптимального проектирования необходимо выполнить как минимум три этапа: описать объекты компоновки, предложить критерий, разработать математическую модель [1].

Основные правила и требования, предъявляемые к компоновке, отражают неформальный характер требований к размещению оборудования, вытекающих из нормативной документации. Для удобства эти правила можно объединить в отдельные блоки: группировка ТО по отделениям; требования к размещению оборудования; правила компоновки, вытекающие из требований ремонта; влияние агрессивности среды на ТО; условия, определяющие размещение оборудования по этажам цеха и на этажах.

Эти и множество других правил и требований, которые надо учесть в процессе компоновки, носят трудно формализуемый характер, что значительно

затрудняет решение задачи размещения с использованием ЭВМ.

Анализируя существующие системы проектирования, можно заметить, что автоматизированное решение задач компоновки оборудования и разработки функционально насыщенной АСУ, основано в большей мере, на человеческом факторе. Однако для выбора оптимального варианта иногда надо проанализировать тысячи альтернативных, что невозможно без их автоматизированного синтеза и анализа.

В результате теоретических и практических исследований определено, что наиболее перспективным и универсальным средством описания динамических систем любой сложности являются сетевые модели ТП, а именно – сети Петри (СП) [4], так как они позволяют представлять циклические, параллельные и ветвящиеся процессы. Наряду со всеми преимуществами моделирование любых систем сетевыми аналогами часто затруднено по следующим причинам:

- 1) формирование сетевой модели представляется довольно сложной, трудно-формализуемой задачей, эффективность решения которой напрямую зависит от квалификации разработчика. Реальную систему можно смоделировать различными методами, выбор которых зависит от того, какой тип СП выберет специалист, какой метод представления процессов и их взаимодействия. Кроме того, необходимо учесть сложность структуры реального предприятия, многочисленными ветвлениями технологических процессов, большой номенклатурой производимой продукции и затрат для ее производства;

- 2) наличие конфликтных и тупиковых ситуаций в имитационной модели, обусловленных либо возможностью одновременного срабатывания нескольких переходов, либо с невозможностью срабатывания ни одного;

- 3) неоднозначность оптимального решения. Результат моделирования лишь косвенно связан с оптимальным значением некоторого критерия;

- 4) существует проблема корректного и простого представления в СП данных о возмущениях и путей компенсации их действия, поскольку обобщенная СП предназначена для представления систем с постоянными структурой и параметрами.

Аналитическая модель проектного решения компоновки включает следующие блоки ограничений, которые могут быть выражены в виде множеств [1]:

1. конструкционные ограничения модели;
2. ограничения на размещение оборудования;
3. ограничения на прокладку трасс трубопроводов;
4. технологические ограничения с учетом условий, обеспечивающих прочность и безопасность оборудования, трубопроводов и транспортеров;
5. условия непересечения объектов.

Варьируя указанными ограничениями и видоизменяя целевую функцию, можно получить практически любую частную постановку задачи. Задачи компоновки в многоэтажном промышленном здании и в цехах ангарного типа получаются из исходной путем задания конструкционных ограничений, соответствующих типу строительной конструкции и частично видоизменению критерия.

Для принятия компоновочных решений большую роль играет выбор конструкции помещений, так как это определяет дальнейший процесс моделирования. Размещение производств может осуществляться на открытых площадках, в многоэтажных зданиях и в зданиях ангарного типа [1].

С точки зрения автоматизации проектирования производств, выбор конструкции цеха (ангарный цех, многоэтажный, на открытой площадке) существенно влияет на способы решения данной задачи. Проектирование производств на открытых площадках применяются в особых случаях, так как повышается износ оборудования, что вызвано систематическим попаданием на ТО осадков, перепадами температур.

Одним из недостатков применения многоэтажных цехов является экономическая неэффективность при проектировании производств малой мощности. Часто проектными организациями приходится сталкиваться с проблемой размещения производств в существующих помещениях, изначально проектируемых под производства других отраслей промышленности.

При проектировании производств в ангарных цехах дискретность при размещении ТО снижается, что, с одной стороны, увеличивает число возможных вариантов компоновки, с другой стороны – требует использования более сложных методов и алгоритмов поиска оптимального решения задачи.

Выполнение проекта компоновки связано с определением пространственного расположения в цехе всех элементов ТС, важнейшими из которых являются оборудование и связующие его коммуникации. Поиск оптимального варианта компоновки связан с анализом множества возможных вариантов размещения, каждый из которых должен быть проверен на соответствие ограничениям математической модели, среди которых есть условия непересечения объектов компоновки, их взаимного расположения и ряд, связанных с геометрической формой размещаемых объектов. Поэтому от описания объектов компоновки, во многом зависит время решения задачи и качество самих решений. Учитывая изложенное и результаты исследований, принимаем ряд допущений.

*Допущение 1.* Используется прямоугольная система координат XYZQ с метрикой пространства  $\rho$ , выбор которой обусловлен требованием прокладки технологических коммуникаций [4]:

$$\rho(c', c'') = |X_{c'} - X_{c''}| + |Y_{c'} - Y_{c''}| + |Z_{c'} - Z_{c''}|, \quad (1)$$

где  $\rho(c', c'')$  – расстояние между двумя точками  $c'$  и  $c''$  пространства XYZQ.

*Допущение 2.* Размещаемые объекты аппроксимируются простейшими геометрическими фигурами или их комплексами. Пространственное положение  $i$ -го объекта в простейшем случае задается вектором  $A_i = (X_i, Y_i, Z_i, Q_i)$ , где  $X_i, Y_i, Z_i$  – координаты центра основания аппроксимирующей фигуры, а  $Q_i$  – угол поворота объекта относительно его начального положения. Такое описание объектов целесообразно использовать при предварительной компоновке объектов, например, при решении задачи размещения.

*Допущение 3.* В ряде случаев приходится осуществлять компоновку блоков, в состав которых входят разнотипные объекты (аппараты, насосы, трубопроводы, арматура). Компоновка элементов таких блоков рассматривается как отдельная задача. В рамках же общей задачи компоновки такие блоки целесообразно описывать как единый размещаемый элемент.

*Допущение 4.* Геометрическое описание связующих коммуникаций целесообразно осуществлять с помощью цилиндров, что не вызывает больших сложностей с проверкой условий непересечения объектов. Для связующих коммуникаций, так же как и для размещаемых объектов, целесообразно использовать несколько уровней сложности их описания в зависимости от детализации проработки проекта.

При решении задачи размещения оборудования ТС пространственное расположение  $j$ -го трубопровода (трассы)  $j = 1, 2, \dots, L$  зададим вектором  $T_j = (X_{j0}, Y_{j0}, Z_{j0}, X_{j1}, Y_{j1}, Z_{j1}, \dots, X_{jK}, Y_{jK}, Z_{jK})$ , где  $L$  – число технологических связей между оборудованием;  $X_{j0}, Y_{j0}, Z_{j0}$  – координаты начала трассы;  $X_{jK}, Y_{jK}, Z_{jK}$  – координаты конца трассы;  $X_{jM}, Y_{jM}, Z_{jM}, M=1, \dots, K-1$  – координаты точек изломов трассы;  $K$  – число прямоугольных фрагментов в трассе  $j$ .

*Допущение 5.* Металлоконструкции, лестницы и другие строительные элементы, а также зоны обслуживания объектов компоновки, проходы и проезды в цехе описываются простейшими геометрическими фигурами (параллелепипед, цилиндр) в зависимости от их конфигурации.

*Допущение 6.* ТО возможно объединить в технологические модули (ТМ), составляющих ТП, и сопоставить обобщенную сетевую модель его работы, которая будет согласована с АСУ ТП и предприятия.

С учетом введенных допущений задача компоновки оборудования формулируется следующим образом. Необходимо найти

$$h^* = \arg \min \{S(h) | h \in H = m(D)\}, \quad (2)$$

где  $h = (AP, TR, CK, M, AR, F)$  – вариант компоновки;  $AP = \{AP_i | i = \overline{1, N}\}$  – вариант размещения ТМ;  $TR = \{TR_j | j = \overline{1, L}\}$  – вариант трассировки трубопроводов и транспортеров;  $CK = (X_c, Y_c, Z_c)$  – вариант строительной конструкции;  $M = \{M_i | i = \overline{1, N}\}$  – вариант металлоконструкций под оборудование;  $AR = \{AR_j | j = \overline{1, L}\}$  – вариант расположения трубопроводной арматуры;  $F = \{F_i | i = \overline{1, N}\}$  – вариант функционального обеспечения АСУ ТМ;  $H$  – множество допустимых вариантов компоновки;  $D$  – множество всех возможных вариантов компоновки ( $D = D_{AP} \times D_{TR} \times D_{CK} \times D_M \times D_{AR} \times D_F$ ;  $D_{AP} = \{AP^{q1} | q1 = \overline{1, |n1|}\}$ ;  $D_{TR} = \{TR^{q2} | q2 = \overline{1, |n2|}\}$ ;  $D_{CK} = \{CK^{q3} | q3 = \overline{1, |n3|}\}$ ;  $D_M = \{M^{q4} | q4 = \overline{1, |n4|}\}$ ;  $D_{AR} = \{AR^{q5} | q5 = \overline{1, |n5|}\}$ ;  $D_F = \{F^{q6} | q6 = \overline{1, |n6|}\}$ );  $D_{AP}, D_{TR}, D_{CK}, D_M, D_{AR}, D_F$  – множество всех возможных вариантов решения технической задачи;  $|n1|, |n2|, |n3|, |n4|, |n5|, |n6|$  – мощности соответствующих множеств  $D_{AP}, D_{TR}, D_{CK}, D_M, D_{AR}, D_F$ ;  $m$  – аналитическая модель проектного решения.

В таком случае, в качестве целевой функции можно предложить критерий приведенных затрат, включающий в себя составляющие капитальных и эксплуатационных затрат, зависящих от решения по компоновке оборудования:

$$S = SK \cdot E_n + SE = E_n \cdot \sum_{i=1}^6 SK_i + \sum_{j=1}^3 SE_j \rightarrow \min_{H \in D} \quad (3)$$

где  $S$  – критерий оптимальности (приведенные затраты);  $SK$ ,  $SE$  – капитальные и эксплуатационные затраты;  $E_n$  – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений.

К капитальным затратам ( $SK$ ) относится стоимость: монтажа оборудования ( $SK_1$ ); металлоконструкций ( $SK_2$ ); строительных конструкций цеха ( $SK_3$ ); транспортных трубопроводных сетей ( $SK_4$ ); устройств для транспортировки ( $SK_5$ ); трубопроводной арматуры ( $SK_6$ ). К эксплуатационным затратам ( $SE$ ) относятся: стоимость электроэнергии, затрачиваемой на транспортировку веществ ( $SE_1$ ); потери тепловой энергии от трубопроводов ( $SE_2$ ); затраты на ремонт оборудования ( $SE_3$ ).

Используя СП, сетевую модель производства, базы данных оборудования становится возможным реализация ряда производственных критериев:

- минимизация времени выпуска продукции

$$T = \max_{i \in H} [T_{iB} + T_{inеп} + T_{инп}] \rightarrow \min_{H \in D} \quad (4)$$

где  $i$  – множество оборудования, принадлежащему множеству  $H$ ;  $T_{iB}$  – суммарное время выполнения операции  $i$ -й единицей оборудования;  $T_{inеп}$ ,  $T_{инп}$  – суммарное время переналадки и простоя единицы оборудования.

- минимизация времени простоя:

$$T = \max_{i \in H} [T_{инп}] \rightarrow \min_{H \in D} \quad (5)$$

- максимизация загрузки оборудования:

$$K = \min_{i \in H} \left[ \frac{T_{iB}}{T_{iB} + T_{inеп} + T_{инп}} \right] \rightarrow \max_{H \in D} \quad (6)$$

**Выводы.** Предложенные задачи можно отнести к классу экстремальных комбинаторных задач дискретного программирования, определенных на множестве возможных перестановок размещаемого ТО и функций АСУ. В связи с большой размерностью таких задач в настоящее время не существует универсальных методов их решения. Алгоритмы, используемые для решения рассмотренных задач, можно разделить на определенные группы: основанные на использовании точных методов и методов случайного поиска; алгоритмы нерегулярного размещения геометрических объектов; конструктивные алгоритмы начального размещения; итерационные алгоритмы улучшения начального варианта размещения.

Для описания объектов компоновки целесообразно применение сетевого представления ТС, а именно – сети Петри.

В качестве критерия эффективности проектных решений необходимо использовать технико-экономические показатели по минимизации приведенных затрат и заданного времени выпуска продукции с максимизацией загрузки оборудования.

#### Список использованных источников

1. Гринберг, Я. И. Проектирование химических производств / Я.И. Гринберг. – М., 1970. – 269 с.
2. Діордієв В. Т. Засоби моделювання технологічних комплексів виробництва комбікормів малої продуктивності [Текст] / В. Т. Діордієв, А. О. Кашкар'єв // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, Том 8. – С. 51-58.
3. Діордієв В. Т. Функціональність АСК технологічним комплексом виробництва комбікормів [Електронний ресурс] / В. Т. Діордієв, А. О. Кашкар'єв // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип. 1, т. 2. – Режим доступу до публікації: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011\\_2](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/nvtdau/2011_2).
4. Зайцев Д. А. Математичні моделі дискретних систем: Навч. посібник / Д.А. Зайцев. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. – 40 с.
5. Пат. №54511 Україна. МПК<sup>9</sup> А23N 17/00, G06Q 10/00. Спосіб автоматизованого керування технологічним процесом виробництва комбікорму [Текст] / В. Т. Діордієв, А. О. Кашкар'єв / Заявник та власник патенту Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201006332; заявл. 25.05.2010; опубл. 10.11.2010, бюл. № 21/2010.

#### Анотація

#### ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА В АПК

Діордієв В. Т., Кашкар'єв А. О.

*Розглянута задача оптимального проектування багатоасортиментних виробництв. Запропонований інструмент математичного моделювання об'єкту, опису процесу комплектування та критерій оцінювання.*

#### Abstract

#### OPTIMAL DESIGN OF ORGANIZATIONAL FUNCTIONS AND TECHNICAL PROVISION IN THE AGRICULTURAL PRODUCTION

V. Diordiev, A. Kashkarov

*In The article considered the problem optimal design of multi-assortment productions. Propose mathematical modeling tool of object, describe the process accommodation and evaluation crite.*