

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ

УДК 681.513.7:[691.31]

**КУЛИНИЧ Эдуард Михайлович**

к.т.н, старший преподаватель Запорожского национального технического университета.

**Научные интересы:** системы управления технологическими процессами.

**e-mail:** kulnich@zntu.edu.ua

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На современном этапе развития химической технологии и технологии производства строительных материалов прослеживается тенденция агрегирования в единый производственный комплекс нескольких однотипных технологических линий. Что позволяет не только повысить мощность производства, но обеспечивает возможность маневрирования загрузкой технологического оборудования с целью оптимизации работы всего комплекса. Таким образом, известная задача оптимизации технологических маршрутов [1], становится актуальной. Известные алгоритмы решения этой задачи [2] опираются на методы линейного программирования или метод динамического программирования, что снижает эффективность управления и приводит к сложным алгоритмам управления.

**Задача исследования:** С целью повышения эффективности управления на основе использования позиномиального функционала цели и метода геометрического программирования построить оптимальное управление распределением материальных потоков по оборудованию технологического комплекса производства газобетона (ПГ).

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Укрупненная структура технологической цепочки ПГ приведена на рис. 1. Основываясь на данной структуре, рассмотрим задачу распределения ресурсов в технологической цепочке при условии воздействия возмущений, затрудняющих использование директивной диаграммы управления.

Так как для всего технологического комплекса выполняется условие материального баланса целесообразно коэффициент передачи аппарата определить как массу готового к передаче на следующий аппарат цепочки материала  $\rho_i V_i(t)$  отнесенную к  $T_i$  - длительности стадии процесса на данном аппарате и номинальной входной массе отнесенной к номинальному времени загрузки аппарата  $m_i^*/T_i^*$ .

$$K_i = \frac{\rho_i V_i(t)}{T_i} \frac{T_i^*}{m_i^*} = C_i \frac{x_i(t)}{T_i}. \quad (1)$$

При этом  $x_i(t)$  определяет состояние аппарата, как объекта управления (ОУ) в технологической цепочке. Особенность процесса заключается в том, что в начале загрузки коэффициент меняется медленно, но после завершения цикла начинается падение коэффициента передачи из-за ожидания готовности следующего в цепочке аппарата.

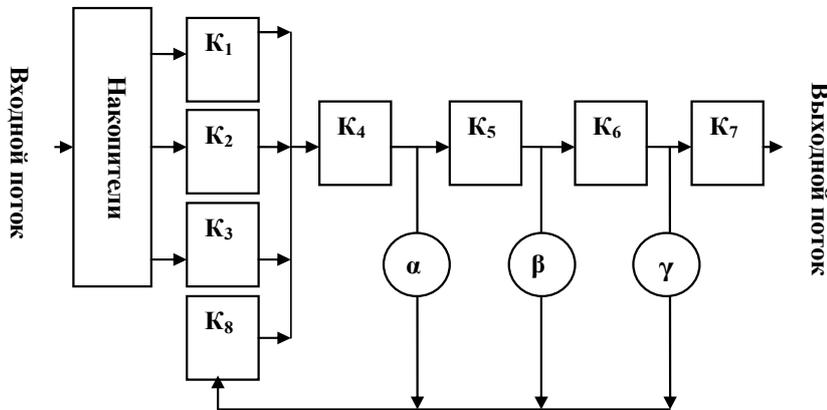


Рисунок 1 – Структура технологической цепочки приготовления газобетона

Входной поток материала поступает в дозаторы с коэффициентом передачи  $K_1, K_2, K_3, K_8$ , после дозирования материал поступает в смеситель  $K_4$  и после сушки (вызревания массива)  $K_5$  и порезки(калибровки)  $K_6$  поступает в автоклав  $K_7$  для термо-влажностной обработки. В структуре цепочки предусмотрен рецикл отходов с коэффициентами передачи по контурам  $\alpha, \beta, \gamma$  через дозатор-смеситель  $K_8$ .

Естественно каждый из аппаратов технологической цепочки имеет свою передаточную функцию и является отдельным ОУ. Однако в целом технологическая цепочка как единый комплекс определяется именно количеством передаваемого материала.

Существенно учитывать, что все аппараты технологической цепочки имеют локальную автоматику, обеспечивающую выполнение заданных операций, с определенной точностью. Таким образом, система является совокупностью обобщенных ОУ.

Считая, что накопители всегда обеспечивают необходимый материальный поток, рассмотрим компоненты вектора  $x$  – вектора состояния систем.

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_8(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Для дозаторов компоненты  $x_1, x_2, x_3$  представляют собой объемы накопленного для дозирования материала. Для смесителя компонента  $x_4$  состояние определяется объемом материала перемешанного до заданной оценки однородности. Для сушки состояние  $x_5$  оп-

ределяется количеством материала высушенного до заданной влажности (готового к порезке). Порезка массива как ОУ имеет состояние  $x_6$  оцениваемое объемом материала прошедшего операцию. Термическая обработка может быть оценена компонентой вектора состояния  $x_7$  определяемой объемом материала полностью прошедшего термическую обработку. Для контура рецикла состояние  $x_8$  определяется объемом материала в дозаторе-смесителе  $x_4$ .

Таким образом, все стадии ТП оцениваются по их состоянию по отношению к передаче материального потока. Естественно для каждого аппарата существуют свои параметры и факторы возмущающие ход ТП, однако наиболее существенным является плотность материала  $\rho_i$  и время проведения производственного цикла  $T_i$ .

С другой стороны для выполнения технологической операции необходимо затратить определенное количество энергии, что целесообразно учесть как удельную мощность на выполнение операции  $q_i$ . В таком случае каждая технологическая операция будет оцениваться отношением выхода материального потока к затраченной энергии.

Таким образом, коэффициент передачи аппарата в цепочке определяется отношением соответствующей компоненты вектора состояния к времени процесса.

Эффективность использования аппарата  $f_i(x_i(t))$  оценивается отношением коэффициента передачи к удельной мощности, затрачиваемой на проведение процесса:

$$f_i(x_i(t)) = K_i = \frac{x_i(t) q_i^*}{T_i q_i}, \quad (3)$$

где  $q_i$  и  $q_i^*$  – удельная и выдаваемая мощности,  $\frac{x_i(t)}{T_i}$  – коэффициент передачи аппарата.

Принятая форма функции цели позволяет просто

$$\begin{aligned} f &= (f_1 + f_2 + f_3 + f_8(\alpha f_4 + \beta f_5 + \gamma f_6)) f_4 f_5 f_6 f_7 = \\ &= f_1 f_4 f_5 f_6 f_7 + f_2 f_4 f_5 f_6 f_7 + f_3 f_4 f_5 f_6 f_7 + \alpha f_8 f_4^2 f_5 f_6 f_7 + \\ &+ \beta f_8 f_4 f_5^2 f_6 f_7 + \gamma f_8 f_4 f_5 f_6^2 f_7 \end{aligned} \quad (4)$$

или учитывая структуру частных функций цели, можем записать

$$f_1(\mathbf{x}) = C_j \prod_{i=1}^8 x_i^{a_{ij}} \quad (5)$$

или приняв

$$C_j = \prod_{i=1}^6 \frac{\rho_i}{T_i} \frac{T_i^*}{m_i^*} \frac{q_i^*}{q_i}. \quad (6)$$

Приняв  $a_{12}=a_{13}=a_{14}=a_{18}=0$ ;  $a_{21}=a_{23}=a_{24}=a_{28}=0$ ;  $a_{31}=a_{32}=a_{34}=a_{38}=0$   $a_{41}=a_{42}=a_{43}=a_{44}=0$ , можем записать выражение (4) в виде:

$$f(\mathbf{x}(t)) = \sum_{i=1}^6 C_j \prod_{j=1}^8 x_j^{a_{ij}}(t). \quad (7)$$

Следовательно, функция цели для технологической цепочки ПГ представляет собой позином [3]. Задача оптимизации в этом случае ставится как задача геометрического программирования, которая имеет при неотрицательных компонентах вектора  $\mathbf{x}$ , следующий вид - для функции цели имеющей вид позинома:

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n C_i \prod_{j=1}^m x_j^{a_{ij}} \rightarrow \min, \quad (8)$$

при неотрицательных компонентах вектора  $\mathbf{x}$ ,

$$x_i > 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (9)$$

размерность вектора  $\dim(\mathbf{x})=m$ , где показатели степени  $a_{ij}$  любые вещественные числа и ограничения в виде позиномов:

$$g_k(\mathbf{x}) = \prod_{j=1}^k x_j^{a_{kj}} \leq 1, \quad k = \overline{1, p}, \quad (10)$$

можно поставить задачу:

оценить эффективность работы всего комплекса. Действительно, так как в основе частных функций цели положен коэффициент передачи материального потока можем записать

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^* &= \arg \min f(\mathbf{x}); \\ x_i &> 0, \quad i = \overline{1, m}; \\ g_k(\mathbf{x}) &\leq 1, \quad k = \overline{1, p}. \end{aligned} \quad (11)$$

Степень трудности задачи, для данной схемы при  $n=6$  и  $m=8$

$$d = n - (m + 1) = 6 - 9 = -3 < 0, \quad (12)$$

что указывает на некорректность постановки задачи, так как связей меньше чем переменных и без учета ограничений решения не имеет.

Вводя ограничения как естественное требование отсутствия переполнения рабочего объема аппарата:

$$g_k(\mathbf{x}) = \frac{v_k}{v_k^{\max}} \leq 1, \quad k = \overline{1, m} \quad (13)$$

и учитывая, что для задачи поиска максимума в геометрическом программировании меняется вид функции цели:

$$\mathbf{x}^* = \arg \min f(\mathbf{x}) = \arg \min \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \prod_{j=1}^m x_j^{-a_{ij}}. \quad (14)$$

Введем обозначения

$$\begin{aligned} f(\mathbf{x}) &= \sum_{i=1}^n u_i; \\ \delta_i &= \frac{u_i}{\sum_{i=1}^n u_i}. \end{aligned} \quad (15)$$

Запишем двойственную функцию в задаче с ограничениями

$$w(\delta) = \prod_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{\delta_i} \right)^{\delta_i} \prod_{k=1}^p \lambda_k^{\lambda_k}, \quad (16)$$

где  $\lambda_i$  определяется суммой двойственных переменных ограничений

$$\lambda_i = \sum_{k=1}^n \delta_k^o, \quad (17)$$

В двойственной задаче условие нормирования и ортогональности выступают в роли ограничений.

Условия нормирования:

$$\sum_{i=1}^n \delta_i = 1, \quad (18)$$

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{C_1} x_1^{-1} x_4^{-1} x_5^{-1} x_6^{-1} x_7^{-1} + \frac{1}{C_2} x_2^{-1} x_4^{-1} x_5^{-1} x_6^{-1} x_7^{-1} + \frac{1}{C_3} x_3^{-1} x_4^{-1} x_5^{-1} x_6^{-1} x_7^{-1} + \\ + \frac{\alpha}{C_4} x_8^{-1} x_4^{-2} x_5^{-1} x_6^{-1} x_7^{-1} + \frac{\beta}{C_5} x_8^{-1} x_4^{-1} x_5^{-2} x_6^{-1} x_7^{-1} + \frac{\gamma}{C_5} x_8^{-1} x_4^{-1} x_5^{-1} x_6^{-2} x_7^{-1} \quad (20)$$

и ограничений:

$$\frac{x_i}{x_i^{\max}} \leq 1, \quad i = \overline{1,8}. \quad (21)$$

Используя условие нормирования и условие ортогональности (18, 19) можно записать систему уравнений, позволяющую определить веса частных целевых функций в функции цели, при этом частную функцию цели  $f_7$  и соответствующую переменную не учитываем, так как она является множителем для всех мономов. В этом случае можем записать:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 + \delta_6 &= 1 \\ \delta_1 &= \delta_1^o \\ \delta_2 &= \delta_2^o \\ \delta_3 &= \delta_3^o \\ \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + 2\delta_4 + \delta_5 + \delta_6 &= \delta_4^o \\ \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + 2\delta_5 + \delta_6 &= \delta_5^o \\ \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 + 2\delta_6 &= \delta_6^o \\ \delta_4 + \delta_5 + \delta_6 &= \delta_8^o \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Естественно, оптимально веса распределяются согласно структуре технологической цепочки:

$$\delta_1 = \delta_1^o; \delta_2 = \delta_2^o; \delta_3 = \delta_3^o; \delta_4 + 1 = \delta_4^o; \\ \delta_5 + 1 = \delta_5^o; \delta_6 + 1 = \delta_6^o; \delta_4 + \delta_5 + \delta_6 = \delta_8^o. \quad (23)$$

Так как для упрощения потоки обратной связи разделяются весовыми коэффициентами, то и ограничения не разделены и, следовательно, учитывая наличие контуров обратной связи, запишем:

и условия ортогональности задаче с ограничениями:

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} \delta_i + \sum_{k=1}^m a_{kj}^o \delta_k^o = 0, \quad j = \overline{1, p}, \quad (19)$$

позволяют найти оптимальное значение двойственных переменных, решая систему уравнений (18, 19)

$$\delta_1 = \delta_1^o; \delta_2 = \delta_2^o; \delta_3 = \delta_3^o; \delta_4 = \delta_4^o + \delta_4^{oc} - 1; \\ \delta_5 = \delta_5^o + \delta_4^{oc} - 1; \delta_6 = \delta_6^o + \delta_4^{oc} - 1; \delta_4 + \delta_5 + \delta_6 = \delta_8^o. \quad (24)$$

Следовательно, учитывая ограничения, можем записать

$$\delta_i^* = \frac{1}{6}. \quad (25)$$

Однако реальное распределение весов зависит от времени и загрузки аппаратов, в этом случае контролируя степень выполнения ограничений можно определить реальные веса

$$\delta_i^*(t) = \frac{\delta_i^o(t)}{\sum_{k=1}^m \delta_k^o(t)}. \quad (26)$$

Используя свойства геометрического программирования, находим значение функции цели в оптимуме в момент времени  $t$

$$f^*(t) = \prod_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{\delta_i^*(t)} \right)^{\delta_i^*} \prod_{k=1}^n \left( \sum_{k=1}^m \delta_k^o \right)^{\sum_{k=1}^m \delta_k^o}, \quad (27)$$

что открывает возможность реализации управления путем распределения затрат энергии для достижения оптимального распределения весов функции цели.

Однако данная задача эффективна при проектировании технологического комплекса и малопродуктивна при управлении уже агрегированной линией. Действительно основные потери происходят из-за неточного

выполнения временной диаграммы работы оборудования, что вызывает простои отдельных аппаратов цепочки, но ускорить ТП возможности нет.

Таким образом, при управлении единичной ТЛ целесообразно решение задачи оптимального распределения по аппаратам цепочки затрат энергии.

Так обозначив

$$C_j = \prod_{i=1}^6 \frac{\rho_i T_i^* q_i^*}{T_i m_i^* q_i} = \prod_{i=1}^6 q_i^* \prod_{i=1}^6 \frac{\rho_i T_i^*}{T_i m_i^* q_i} = q_j C_j^* \quad (28)$$

и найдя оптимальное распределение весов  $\delta_i^*$  из

ранее рассмотренной задачи

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^* &= \arg \min f(\mathbf{x}); \\ x_i &> 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad g_k(\mathbf{x}) \leq 1, \quad k = \overline{1, p}, \end{aligned} \quad (29)$$

целесообразно найти оптимальное распределение энергии по контурам технологической цепи

$$\begin{aligned} q_i^* \arg \min f^*(t) &= \\ &= \arg \max \prod_{i=1}^n \left( \frac{q_i C_i^*}{\delta_i^*(t)} \right)^{\delta_i^*} \prod_{k=1}^m \left( \sum_{k=1}^m \delta_k^o \right)^{\sum_{k=1}^m \delta_k^o} \quad (30) \\ & \quad q_i^* \leq q_i^{max} \end{aligned}$$

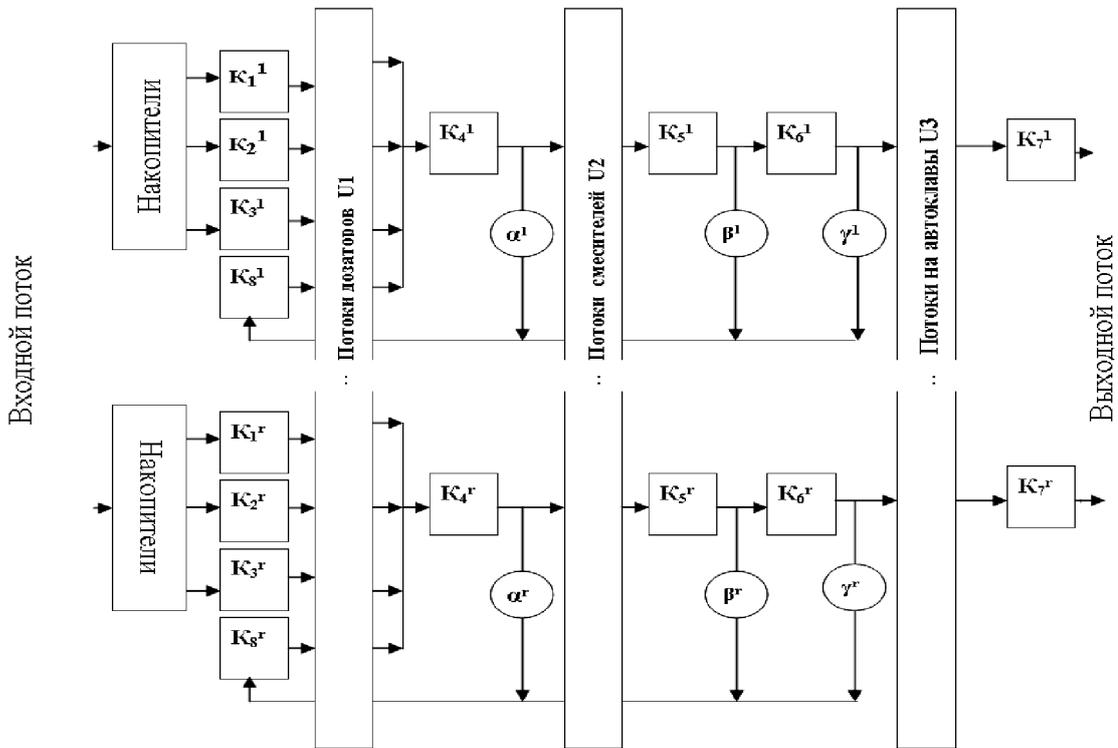


Рисунок 2 – Структура технологического комплекса приготовления газобетона

Решение данной задачи сводится к выравниванию материальных потоков за счет изменения подачи энергии. Существенной особенностью данного подхода является простота определения значения функции цели, что зачастую является сложной операцией при реализации алгоритмов оптимального управления.

Высокая потребность строительной индустрии в газобетоне и особенности ТП определяет переход от отдельных технологических цепочек к высокопроизводи-

тельным технологическим комплексам, интегрирующим несколько производственных линий, рис. 2.

Оптимальное управление в таком комплексе обеспечивает наилучшее распределение материальных потоков по технологическим аппаратам. В таком случае управления потоками осуществляется выбором коммутационных матриц U1, U2, U3. Собственно здесь появляется реальная возможность повысить материальный поток за счет выбора траекторий для каждого отдель-

ного потока, обеспечивающий оптимальное значение функции цели.

Используя поинномиальную функции цели для каждой отдельной технологической цепочки, можно записать:

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \sum_{i=1}^n C_{i1} \prod_{j=1}^m x_{j1}^{a_{ij}}(t) \\ &\vdots \\ f_r &= \sum_{i=1}^n C_{ir} \prod_{j=1}^m x_{jr}^{a_{ij}}(t) \end{aligned} \right\}. \quad (31)$$

Следовательно, для всего комплекса функция цели принимает вид:

$$f = \sum_{l=1}^r f_l = \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^n C_{il} \prod_{j=1}^m x_{jl}^{a_{ij}}(t). \quad (32)$$

Для определения вектора состояния  $\mathbf{x}$  преобразуем выражение для функции цели

$$f = \sum_{i=1}^n C_i \prod_{j=1}^m x_j^{a_{ij}}(t) = \sum_{i=1}^n C_i \exp\left(\sum_{j=1}^m a_{ij} \ln x_j\right). \quad (33)$$

Введем вектор логарифмов состояния, матрицу показателей степени и вектор весов:

$$\mathbf{x}_j = \begin{bmatrix} x_{j1} \\ \vdots \\ x_{jl} \end{bmatrix}; \quad \ln \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \ln x_1 \\ \vdots \\ \ln x_m \end{bmatrix}; \quad A = \begin{pmatrix} A_1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & A_m \end{pmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix}. \quad (37)$$

Управление потоками в таком случае осуществляется клеточной матрицей коммутации  $U$ , элементами которой являются матрицы коммутации потоков на переходах технологического процесса  $U_i$ :

$$U = \begin{pmatrix} U_1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & U_m \end{pmatrix}. \quad (38)$$

И можно записать в явном виде зависимость функции цели от управления

$$\begin{aligned} U^*, \mathbf{x}^* \rightarrow \max f &= f(U) = \langle UC, \exp(UA \ln \mathbf{x}) \rangle; \\ x_{jl} > 0, \quad j = \overline{1, m}, \quad l = \overline{1, r}; \quad \frac{x_{jl}}{x_{jl}^{\max}} &\leq 1, \quad j = \overline{1, m}, \quad l = \overline{1, r}. \end{aligned} \quad (40)$$

В данной постановке задача оптимального управления имеет простое и легко реализуемое решение.

$$\ln \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \ln x_1 \\ \vdots \\ \ln x_m \end{bmatrix}; \quad (34)$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{pmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix}.$$

Тогда можно записать функцию цели в виде с явно выраженным вектором состояний:

$$f(\mathbf{x}) = \langle C, \exp(A \ln \mathbf{x}) \rangle. \quad (35)$$

Для функции цели, описывающей поведение всего комплекса, можно записать

$$\begin{aligned} f &= \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^n C_{il} \prod_{j=1}^m x_{jl}^{a'_{ij}} = \\ &= \sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^n C_{il} \exp\left(\sum_{j=1}^m a'_{ij} \ln x_{jl}\right). \end{aligned} \quad (36)$$

Введем клеточные вектор логарифмов состояния, матрицу показателей степени и вектор весов:

$$f(U) = \langle UC, \exp(UA \ln \mathbf{x}) \rangle. \quad (39)$$

Таким образом, задача оптимального управления, в данном случае, сводится к поиску оптимального управления  $U^*$  и оптимальной траектории  $\mathbf{x}$ , доставляющей максимум суммарной производительности комплекса. Таким образом, задача оптимального управления для всего комплекса имеет вид:

Действительно, поскольку определить значение функции цели для каждой отдельной цепочки неслож-

но, можно поставить задачу выделения цепочки имеющей максимальное значение функции цели

$$U^*, x^* \rightarrow \sup f. \quad (41)$$

Поскольку все слагаемые функции цели строго положительны последовательное выделение оптимальной траектории обеспечивает достижение глобального максимума общей функции цели.

Таким образом, формирование оптимального управления технологическим комплексом ПГ содержит следующие этапы:

1. Находится оценка состояния системы, естественно это  $r$  векторов

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_r \end{pmatrix}. \quad (42)$$

2. Оцениваются ограничения

$$g_{kl}(x) = \delta_{kl}^0 \leq 1, \quad l = \overline{1, r}; \quad k = \overline{1, m}. \quad (43)$$

3. Для каждого перехода ТП ищем матрицу управления, обеспечивающую выделение отрезка технологической цепочки с максимальной функцией цели. Причем если процедура начата с первого шага технологической цепочки, то можно просто построить управление обеспечивающее условие

$$U_1^* \rightarrow f_{11}^* \geq f_{12}^* \geq \dots \geq f_{1r}^*. \quad (44)$$

4. Продолжая построение управления на втором шаге технологии

$$\begin{aligned} U_1^*, U_2^* &\rightarrow f_{11}^* + f_{21}^* \geq \\ &\geq f_{12}^* + f_{22}^* \geq \dots \geq f_{1r}^* + f_{2r}^*. \end{aligned} \quad (45)$$

5. После построения оптимального управления для всех шагов получаем оптимального управления комплексом

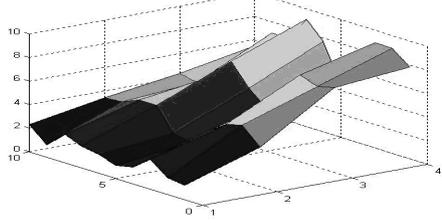
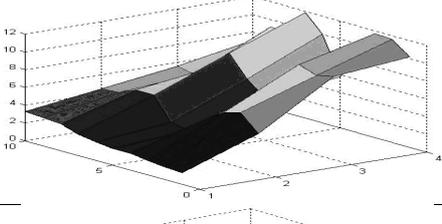
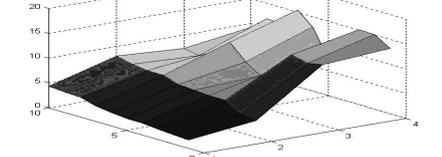
$$\begin{aligned} U^* = U_1^*, U_2^*, \dots, U_r^* &\rightarrow \\ \rightarrow \sum_{i=1}^n f_{i1}^* \geq \sum_{i=1}^n f_{i2}^* \geq \dots \geq \sum_{i=1}^n f_{ir}^*. \end{aligned} \quad (46)$$

Собственно полученная процедура является разновидностью метода динамического программирования Беллмана и отличается только отсутствием необходимости учета предыдущих шагов, так как формируется на основе строго положительных частных функций цели.

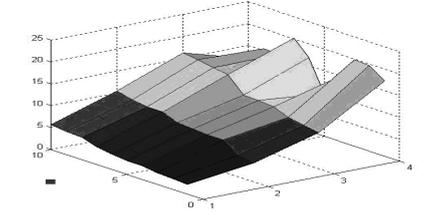
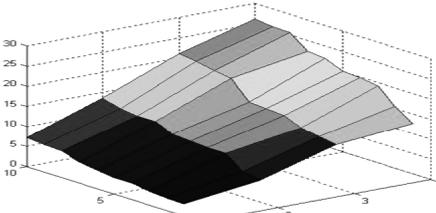
В табл. 1 показан процесс формирования оптимального управления на примере с четырьмя шагами ТП и десятью линиями, агрегированными в единый технологический комплекс.

Таблица 1 –

**Процесс формирования оптимального управления**

Шаг	Операция	Результат
0	$U = U_0$	
1	$U_1^* \rightarrow f_{11}^* \geq f_{12}^* \geq \dots \geq f_{1r}^*$	
2	$U_1^* \rightarrow f_{11}^* \geq f_{12}^* \geq \dots \geq f_{1r}^*$ $U_2^* \rightarrow f_{21}^* \geq f_{22}^* \geq \dots \geq f_{2r}^*$	

Продовження таблиці 1

3	$U_1^* \rightarrow f_{11}^* \geq f_{12}^* \geq \dots \geq f_{1r}^*$ $U_2^* \rightarrow f_{21}^* \geq f_{22}^* \geq \dots \geq f_{2r}^*$ $U_3^* \rightarrow f_{31}^* \geq f_{32}^* \geq \dots \geq f_{3r}^*$	
4	$U_1^* \rightarrow f_{11}^* \geq f_{12}^* \geq \dots \geq f_{1r}^*$ $U_2^* \rightarrow f_{21}^* \geq f_{22}^* \geq \dots \geq f_{2r}^*$ $U_3^* \rightarrow f_{31}^* \geq f_{32}^* \geq \dots \geq f_{3r}^*$ $U_4^* \rightarrow f_{41}^* \geq f_{42}^* \geq \dots \geq f_{4r}^*$ $U^* = U_1^*, U_2^*, U_3^*, U_4^*$	

Удобство процедури заключається в використанні быстрого алгоритма геометрического программирования для определения значения функции цели в оптимуме.

При этом не тратится время на поиск координат оптимума, что резко упрощает алгоритм. Особенностью разработанной процедуры является ее простота, что определяется использованием метода геометрического программирования и возможность использования при нестационарности объекта, так как в данном случае управление синтезируется в ходе процесса.

**ВЫВОДЫ:**

1. Задача управления технологической цепочкой приготовления газобетона относится к задачам распределения ресурсов и ее целевая функция является позиномом.
2. Задача построения оптимального управления приготовления газобетона является задачей геометрического программирования.
3. Оптимальное управление, для отдельно взятой технологической цепочки, синтезируется как распределение ресурса энергии по ее технологическим аппаратам.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Dudnikov E.G. Avtomaticheskoe upravlenie v himicheskoy promyshlennosti. Uchebnik dlja vuzov. Pod red. E.G. Dudnikova. – М.: «Химия», 1987. – 368 s.
2. Karpuhina N.V. Metody iskusstvennogo intellekta v zadachah operativnogo upravlenija i optimizacii slozhnyh tehnologicheskikh kompleksov /N.V. Karpuhina, K.M. Pastuhova, P.A. Sviridov //Problemy upravlenija. – 2003. – №3. – S.21-24.
3. Daffin R. Geometricheskoe programmirovanie /Z. Daffin, Je. Paterson, K. Zener. – М.: «Mir», 1972. – 312 s.

Рецензент: д.т.н., проф. Крючковский В.В., Херсонский национальный технический университет.

4. Для построения оптимального управления необходимо иметь оценку выполнения ограничений.
5. При использовании позиномиального интегранта, в задаче оптимального управления приготовлением газобетона, возможно использование метода Пон-трягина, при этом максимум функции Гамильтона определяется с учетом максимального значения интегранта, которое легко находится методом геометрического программирования.
6. Оптимальное управление технологическим комплексом приготовления газобетона находится в рамках метода динамического программирования Беллмана, причем использование позиномиальной функции цели позволяет обеспечить строгую монотонность функции цели и как следствие существование и единственность оптимальной траектории.
7. Оптимальное управление в задаче управления комплексом производства газобетона является синтезирующим и применимо для нестационарных объектов, таких как рассматриваемый комплекс.