

СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОЕКТИ- РОВАНИЯ

О.Н. Замирец

(ГП Научно-исследовательский технологический институт приборостроения)

Рассмотрена задача синтеза управления путем выбора оператора формирования управляющего воздействия и структурной схемы управления регулирующей его при экстремизации набора критериев эффективности. Проведен анализ явного и программного принципов управления и критерия оценки эффективности управления процессом проектирования. Процесс проектирования представлен в виде графа с упорядоченными во времени последовательно-паралельными работами, а для удобства контроля выполнения проекта в виде ленточного графика. Аргументирована необходимость синтеза адаптивной системы, которая при необходимости позволяет реализовать программный и явный принцип управления. Приведена структурная схема и алгоритм системы управления.

задача синтеза управления, принцип управления, критерий оценки эффективности управления процессом проектирования

Проблема управления процессом проектирования в общем случае может быть интерпретирована как задача перевода объекта проектирования из некоторого начального состояния X_0 в заданное техническим заданием (ТЗ) конечное состояние X_K . Траектория такого перехода определяется оператором функционирования Φ устанавливающим связь текущего состояния объекта проектирования $X(t)$ с управляющим воздействием $U(t)$, возмущениями $\eta(t)$ и начальным состоянием X_0 :

$$X(t) = \Phi[X_0, t_0, U_{(t_0, t]}, \eta(t_0, t)] \}. \quad (1)$$

Одной из основных задач синтеза управления является выбор оператора формирования управляющего воздействия Π :

$$U(t) = \Pi[X(t), X_K, t] \quad (2)$$

и структурной схемы управления реализующей его. При этом должен экстремизироваться некоторый набор критериев эффективности

$$K = \{k_i(X, U)\}, i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

учитывающих степень достижения целевого состояния X_K и затраты ресурсов на реализацию управления U .

Как показано в работе [1], решение такой задачи в общем случае, независимо от предметной области, сводится к решению задачи планирования

(определения программной траектории) для любых допустимых t , $X(t)$

$$U(t) = U[X(t), X_K, t]. \quad (4)$$

Осуществление управления в виде (4) известно как явный принцип управления. Для синтеза явного управления необходимо иметь аналитическую зависимость (4), получить которую удастся крайне редко, или реализовать задачу планирования в реальном масштабе времени, что связано как правило с большими вычислительными затратами.

Альтернативой явному принципу является программный принцип управления. Осуществление последнего заключается в сведении управления на основе гипотезы о разделимости движений [2] к суперпозиции

$$U[X(t), X_K, t] = U^*(t) + U[X^*(t), t], \quad (5)$$

где $U^*(t)$ – программное управляющее воздействие, соответствующее оптимальной траектории $X^*(t)$ перехода из начального $\langle X_0, t_0 \rangle$ в заданное конечное $\langle X_k, t_k \rangle$ состояние, а второе слагаемое – управление компенсирующее отклонения от $X^*(t)$.

В такой постановке задача управления процессом проектирования системы распадается на две: определение оптимального плана (программы) выполнения проектных работ и синтеза эффективного оперативного управления для ликвидации возникающих отклонений реального процесса от планового. Соответственно разделяется на две группы и набор критериев (3). Выбор того или иного принципа управления определяются критериями (3), которые отражают цели управления.

Особенностью процесса проектирования как объекта управления является высокая неопределенность его характеристик и динамизм их изменения. Это усложняет выбор и формализацию критериев оценки эффективности управления.

Анализ целей и формирование критериев оценки эффективности процесса проектирования. Процесс проектирования относится к объектам терминального управления. Это означает, что целевое состояние X_K должно быть достигнуто не позже некоторого наперед заданного момента времени T_K , т.е. $C = \langle X_K, T_K \rangle$. Формирование критериев оценки эффективности управления процессом проектирования существенно зависит от допустимости и вида функции потерь при отклонениях от планового терминального состояния как при перевыполнении

$$C = \langle X_K(t), t < T_K \rangle, \quad (6)$$

так и невыполнении плана

$$C = \langle X_K(t), t > T_K \rangle. \quad (7)$$

Выполнение плановых проектных работ требует затрат ресурсов (в общем случае разнородных) $R^*(t)$. Так как в процессе проектирования воз-

никают случайные негативные возмущения, для их компенсации предусмотрен некоторый запас управляющих ресурсов ΔR . В этом случае перевыполнения плана (6), при правильном планировании возможно только за счет использования управляющих ресурсов в случае если возмущение отсутствует или носят положительный характер. Перевыполнение плана является положительным явлением, так как время в процессе проектирования является базовым ресурсом определяющим интенсивность расходования всех остальных ресурсов. Поэтому запас по времени $\Delta t = T_K - T_\Phi > 0$, где

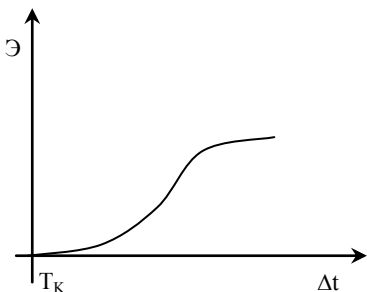


Рис. 1. Зависимость эффекта от величины перевыполнения плана

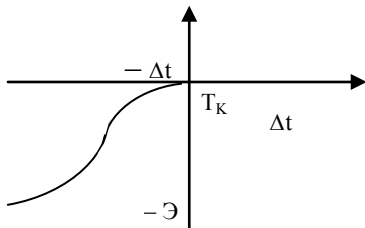


Рис. 2. Зависимость величины потерь за счет невыполнения плана

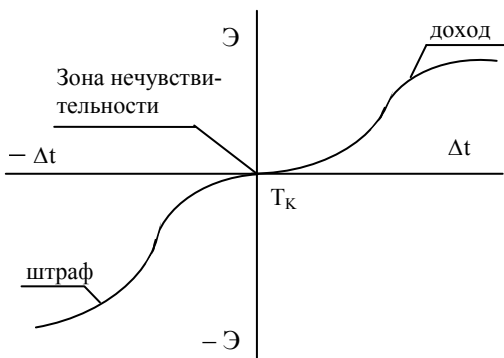


Рис. 3. Зависимость эффекта от величины и знака отклонения срока выполнения проекта

T_Φ – время фактического выполнения задания, делает процесс проектирования более устойчивым и позволяет в общем случае получить экономию ресурсов равную

$$R_{\text{Э}} = \int_{T_\Phi}^{T_K} R^*(t) dt + \int_{T_\Phi}^{T_K} \Delta R(t) dt. \quad (8)$$

Эффект за счет указанной экономии ресурсов имеет нелинейный характер, его график представлен на рис. 1.

Ситуация невыполнения плана $\Delta t = T_K - T_\Phi < 0$, наоборот, требует дополнительных затрат ресурсов на последующих этапах проектирования или приводит к потерям обусловленным штрафами за несвоевременное выполнение проекта. В общем случае эта функция потерь также нелинейна (рис. 2).

С учетом сказанного общий график зависимости эффективности при отклонении срока выполнения проекта от планового T_K будет иметь вид, изображенный на рис. 3.

Следует обратить внимание, что в общем случае левая и правая часть графика не симметричны.

Общий критерий оценки эффективности управления [8] имеет следующий вид (Ψ – знакоопределенная функция обуславливающая вид критерия

рия оптимальности):

$$K = \text{extr} \int_0^{T_k} \alpha(t, T_k) \Psi[X(t), X^*(t)] dt, \quad (9)$$

Функция $\alpha(t, T_k)$ определяет характер взаимодействия управляемого процесса с внешней средой, в том числе с другими исполнителями проекта. Если взаимодействие непрерывно, то $\alpha(t, T_k) = 1$ и (9) принимает вид

$$K_1 = \text{extr} \int_0^{T_k} \Psi[X(t), X^*(t)] dt, \quad (10)$$

если дискретно, то

$$\alpha(t, T_k) = \delta(t - nT) \quad \text{и} \quad K_2 = \text{extr} \sum_{n=0}^N \Psi[X(nT), X^*(nT)],$$

где T – интервал дискретности взаимодействия и контроля состояния управляемого объекта.

Пусть Ψ – функция эффективности процесса проектирования. Тогда необходимо ее максимизировать

$$\Psi[X(t), X^*(t)] = \max [F(t) - L(t)], \quad (11)$$

где $F(t)$ – эффект полученный при отклонении процесса проектирования от планового; $L(t)$ – затраты на управление.

В связи с этим возникает необходимость обоснования принципа управления и реализующей его структуры.

Особенности программного и явного принципов управления.

Сравним программный и явный принципы управления процессом проектирования по степени оптимальности, а также рассмотрим особенности синтеза и функционирования соответствующих систем управления.

Программа управления $U^*(t)$ определяет программную траекторию $X^*(t)$. Под действием возмущений в момент времени t система может оказаться в состоянии $X_\phi(t)$, отличном от $X^*(t)$. В силу единственности оптимальной траектории для каждой точки пространства допустимых состояний X_d системы существует своя оптимальная траектория перехода в состояние X_k . При программном управлении система из точки $X_\phi(t)$ переводится на траекторию $X^*(t)$ путем компенсации рассогласования с помощью оперативного управления. Неоптимальность такого принципа управления очевидна, причем нерациональные затраты ресурсов в общем случае обусловлены величиной рассогласования программного и фактического состояний системы. Кроме того, программы $X^*(t)$, $U^*(t)$ определяются для конкретных значений параметров системы. Если действительные значения отличаются

от расчетных, управление $U^*(t)$ также неоптимально [3].

Следовательно, программный метод управления в общем случае неоптimalен по затратам ресурсов на управление, неуниверсален, неработоспособен при больших рассогласованиях программного и фактического состояний системы, не допускает в процессе функционирования количественного изменения цели системы. Перечисленные недостатки связаны с тем, что программное управление $U^*(t)$ определяется заранее, является функцией времени, т.е. не связано с фактическим состоянием объекта в процессе реализации.

Альтернативой программному является явный метод управления основанный на замыкании контуров формирования программы управления: в этом случае управляющие функции задаются в виде

$$U(t) = U [X_{\phi}(t), X_k, t]. \quad (12)$$

Такое управление универсально и гибко, поскольку не требует предварительного расчета программы управления и допускает изменение конечных условий в пределах ресурсных возможностей объекта. Повышается вероятность достижения цели вследствие работоспособности явного управления при больших отклонениях параметров и внешних условий. Однако практическое осуществление данного управления связано с серьезными вычислительными трудностями, так как требует решения задачи оптимального планирования выполнения проекта в реальном масштабе времени. Эта задача, как правило, очень трудоемка, и такое управление предъявляет высокие требования к характеристикам подсистемы планирования и управляющего вычислительного комплекса, что снижает эффективность системы в целом.

Не затрагивая вопрос об области применения различных модификаций явного управления, который можно решить только для конкретных систем, рассмотрим области применения программного и явного принципов управления на основе анализа выделенных особенностей систем допустимости перевыполнения плана и характера взаимодействия с внешней средой.

Для систем, у которых отклонение от программной траектории (плана) нежелательно, а взаимодействие с внешней средой непрерывно, единственный приемлемый принцип управления – программный, так как здесь реализована разновидность следящей системы с известным входным сигналом $X^*(t)$. В том случае, если характер взаимодействия дискретный с интервалом T , необходимо терминальное управление, которое может быть осуществлено с помощью программного или явного принципов. Выбор принципа зависит от критерия оценки эффективности управления (9).

Когда для системы желательно перевыполнение плана, характер взаимодействия с внешней средой не имеет значения, поскольку здесь целью является максимальное быстроедействие. Предельно возможное быстроедействие в условиях влияния возмущений может быть обеспечено

только явным управлением.

Таким образом, для терминальных систем управления, к которым относится управление процессом проектирования, выбор принципа управления требует дополнительной информации. Если для оценки эффективности системы использовать критерий (11), учитывающий потери при отклонениях от цели и «стоимость» ресурсов, в том числе и вычислительных мощностей, затрачиваемых на управление, то может оказаться, что для одной и той же координаты $x_i(t)$ вектора состояния X объекта в различных ситуациях оптимальны разные принципы управления. Кроме того, в организационных системах рассматриваемого класса для части координат вектора состояния недопустимо отклонение от цели, а для другой части желательно перевыполнение. Таким образом, возникает необходимость в универсальной СУ, структура которой адаптируется к требованиям системы и в зависимости от этого осуществляет программный и явный принцип управления, сочетая их достоинства.

Общие выводы, сделанные выше полностью справедливы для процесса проектирования, как объекта управления.

Процесс проектирования представляет собой упорядоченную во времени последовательно-параллельную последовательность работ, для выполнения каждой из которых нужны в общем случае специализированные ресурсы. В такой интерпретации наиболее наглядно процесс проектирования можно представить в виде сетевого графа, фрагмент которого показан на рис. 4.

На этом рисунке каждому узлу графа соответствует событие – начало (t_n) и/или окончание (t_k) конкретной работы, а ребру – работа x_i .

Для контроля и управления ходом проектных работ более удобным является представление процесса проектирования в виде ленточного графика, фрагмент которого приведен на рис. 5.

Тогда в каждый момент времени t состояние процесса проектирования характеризуется кортежем

$$X(t) = \langle x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t) \rangle, \quad (13)$$

а плановое (программное) состояние – кортежем

$$X^*(t) = \langle x_1^*(t), x_2^*(t), \dots, x_n^*(t) \rangle. \quad (14)$$

Тогда отклонение фактического состояния $X(t)$ процесса проектирования от

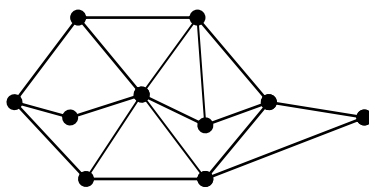


Рис. 4. Фрагмент сетевого графа выполнения проектных работ

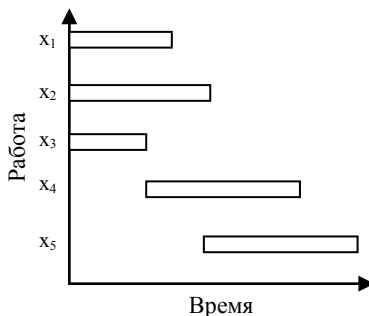


Рис. 5. Ленточный график выполнения проектных работ

планового $X^*(t)$ можно записать в виде

$$X^*(t) - X(t) = \Delta X(t) = \left\| \begin{array}{c} x_1^*(t) - x_1(t) \\ \dots \\ x_n^*(t) - x_n(t) \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{c} \Delta x_1(t) \\ \dots \\ \Delta x_n(t) \end{array} \right\|. \quad (15)$$

Отсюда видно, что общий процесс управления проектированием распадается на локальные процессы управления выполнением каждой конкретной работы, комплексом взаимосвязанных работ, проектом в целом.

Следует учитывать, что часть работ являются критическими, т.е. их последовательность образует критический путь на сетевом графе (рис. 4). Это означает, что совокупность этих работ определяет общее время выполнения проекта T_k и являются «сдерживающими» для некритических работ. Процесс управления должен быть ориентирован на стимулирование досрочного выполнения таких работ. Вместе с этим необходимо учитывать, что досрочное выполнение одной или комплекса критических работ, может изменить критический путь на сетевом графе.

Еще одна принципиальная особенность процесса проектирования, как объекта управления, заключается в зависимости определенности исходной информации от типа проекта. Можно выделить два полярных типа: прототиповое и уникальное проектирование. В первом случае проектная организация располагает опытом выполнения проектов аналогичных изменений, которые отличаются не принципиальными, в основном количественными характеристиками. В этом случае проектная организация располагает полной и достаточно точной информацией, организованной в специализированные базы данных; информацией о содержании локальных проектных работ, последовательности их выполнения, спецификации необходимых ресурсов и трудоемкости выполнения. Это позволяет разрабатывать практически детерминированные планы $X^*(t)$ выполнения таких проектов. Наиболее целесообразным и эффективным принципом управления процессом проектирования в этом случае является программный принцип.

Противоположным случаем является уникальное проектирование, когда выполняется проект принципиально нового изделия с уникальными характеристиками. Уровень определенности информации в этом случае о перечне работ, порядка их выполнения, требуемых ресурсах, трудоемкости носит приблизительный, интервальный характер. Это затрудняет, а иногда делает принципиально невозможным точное планирование. в таких условиях, даже сетевой график может содержать несколько вариантов критического пути. В этом случае наиболее адекватен явный принцип управления.

В общем случае практически любой проект представляет собой композицию «прототиповых» и «уникальных» работ с разным их количеством в

зависимости от специфики. Все сказанное аргументирует необходимость синтеза адаптивной системы управления, которая при необходимости позволяет реализовать как программный, так и явный принципы управления.

Синтез структурной схемы адаптивного управления и алгоритма ее работы. В силу того, что универсальная система должна реализовать программный и явный принципы управления, в ее структуре должны содержаться соответствующие контуры. Принятия решения о выборе принципа управления, т. е. адаптация систем к конкретным условиям, осуществляется руководителем проекта, который изменяет структуру управления. Блок-схема такой системы управления (рис. 6) универсальна и позволяет реагировать достоинства обоих методов управления, поскольку структурно он может варьироваться, допуская чисто программный или чисто явный метод, а также любую их композицию. Это достигается выбором стратегии замыкания ключей 1 и 2, что отвечает программному и явному принципам управления соответственно. Если система управления не располагает достаточными ресурсами, управление передается вышестоящему уровню (ключ 3). Выбор оптимальной структуры производится руководителем проекта (решающим устройством) на основе анализа в реальном масштабе времени оптимизирующего функционала (11), характеризующего эффективность управления. Рассмотрим его подробно.

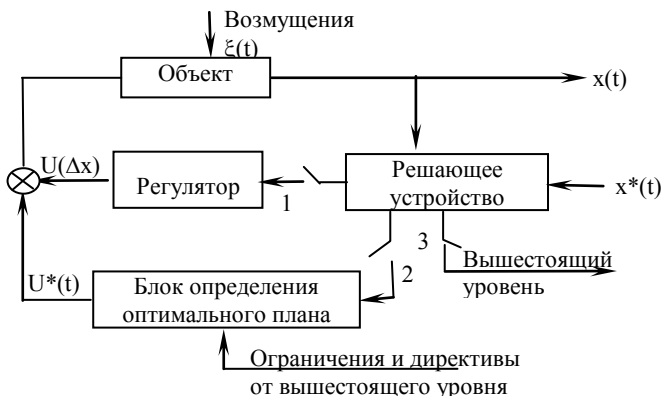


Рис. 6. Структурная схема адаптивной системы управления

Эффект $F(t)$, получаемый системой, определяется уравнением:

$$F(t) = \begin{cases} -\Gamma|\Delta X(t)|; \\ +\Gamma|\Delta X(t)|, \end{cases} \quad (16)$$

где $-\Gamma$, $+\Gamma$ – матрицы-строки платежей за отклонения от плана (15) при его невыполнении и перевыполнении; $\Delta X(t)$ – матрица-столбец изохронных от-

клонений от плана. Матрица $-\Gamma$ во всех случаях неположительная, а $+\Gamma$ – неположительная при недопустимости перевыполнения плана и неотрицательная в противном случае. В общем случае $|\Gamma| \neq |-\Gamma|$, что обусловлено различными последствиями невыполнения и перевыполнения плана. Вообще говоря, элементы матрицы Γ – нелинейные функции отклонения от плана:

$$-\Gamma = \varphi_1 [-\Delta X(t)]; \quad +\Gamma = \varphi_2 [+ \Delta X(t)]. \quad (17)$$

Изображенная на рис. 3 матрица затрат на управление также является функцией отклонения: $L(t) = L[\Delta X(t)]$. Конкретный вид этой зависимости определяется принципом регулирования и параметрами контура управления, которые, в свою очередь, обусловлены особенностями цели регулирования. В общем случае $L(t)$ включает матрицу затрат $Z(t)$ на создание и поддержание в работоспособном состоянии ресурсов, необходимых для управления, и матрицу затрат $E(t)$, определяемых «стоимостью» управляющего воздействия:

$$L(t) = Z(t) + E(t). \quad (18)$$

Особенность затрат $Z(t)$ – их интегральное накопление в течение планового периода $T = t_k - t_n$:

$$Z_T = \int_0^T Z(t) dt. \quad (19)$$

Здесь $Z(t)$ – затраты в единицу времени на создание и поддержание в работоспособном состоянии ресурсов управления. Эффект F_c вследствие отклонения от плана и «стоимость» E_c управления, необходимого для компенсации этого отклонения, пропорциональны только времени отклонения процесса от планового:

$$F_c = \int_{t_1}^{t_2} \alpha(t, t_k) F(t) dt; \quad (20) \quad E_c = \int_{t_1}^{t_2} E(t, \Delta X, U) dt, \quad (21)$$

где t_1 – начало срыва процесса; $F(t)$ – функция эффекта, определяемая по формуле (16); $E(t, \Delta X, U)$ – «стоимость» управляющих воздействий, является функцией времени, отклонения ΔX и вида воздействия U . Информация о функции $\alpha(t, t_k)$ дана ранее. Следует подчеркнуть, что Z_T, E_c – неубывающие функции.

Время ликвидации отклонения от плана

$$t_2 = t_{кн} + t_{н.п} + t_{зап.} + t_{н.н}, \quad (22)$$

где $t_{кн}$ – время с момента возникновения отклонения от плана до ближайшего момента контроля процесса (при непрерывном контроле $t_{кн} = 0$); $t_{н.п}$ – время, необходимое для анализа ситуации и принятия решения; $t_{зап.}$ – время запаздывания, требуемое для изменений в системе, связанных с управлением; $t_{н.н}$ – время переходного процесса с момента

начала управления до ликвидации отклонения. Предположим, что j -ое управляющее воздействие обеспечивает приращение скорости изменения координаты \dot{x}_i вектора состояния сверх плановой скорости \dot{x}_i^* , равное $\Delta^+ \dot{x}_{ij}$. Тогда время переходного процесса можно вычислить как

$$t_{п.п.ij} = \int_{t_i}^{t_{3i}} \Delta^- \dot{x}_i dt / \Delta^+ \dot{x}_{ij} = \Delta x_{i\max} / \Delta^+ \dot{x}_{ij}, \quad (23)$$

где t_{3i} – момент времени, когда фактическая скорость \dot{x}_i становится равной плановой \dot{x}_i^* ; $\Delta x_{i\max}$ – отклонение от \dot{x}_i , накопившееся к моменту t_{3i} (оно является максимальным). Величина t_{3i} определяется так:

$$t_{3i} = t_{кнi} + t_{н.пi} + t_{занi} + t_{xij}, \quad (24)$$

где \dot{x}_{ij} – время возрастания значения \dot{x}_i до планового; при управлении, имеющем релейную характеристику изменения \dot{x}_i , оно равно нулю. Все величины, входящие в формулы (22) – (24), обычно известны, за исключением t_{3i} , $\Delta x_{i\max}$. Последние рассчитываются на основе прогноза функции $\Delta^- x$.

Таким образом, функционал (11) с учетом всех слагаемых для случая нежелательности отклонений от плана имеет вид

$$\Psi = \max_U \left[\int_{t_1}^{t_2} \alpha(t, t_K) F(t) dt + \int_0^T Z(t) dt + \int_t^{t_2} E(t, \Delta X, U) dt \right], \quad (25)$$

а при желательности перевыполнения плана

$$\Psi_1 = \max_U \left[\int_t^T \alpha(t, t_K) F(t) dt + \int_0^T Z(t) dt + \int_t^T E(t, \Delta X, U) dt \right], \quad (26)$$

где t – текущий момент времени. Различие функционалов вызвано тем, что при перевыполнении плана первое слагаемое выражения (26) положительно. Это обуславливает рациональность использования ресурсов управления не только для парирования возмущений, как в первом случае, а и для перевыполнения плана, т. е. непрерывно.

Критерий оптимизации (11) позволяет решить две задачи: оптимизации параметров управления; оптимизации управления — адаптации структуры системы управления и выбора воздействия.

Первая задача имеет в общем случае следующую постановку. Заданы ограниченные ресурсы при известных параметрах объекта управления. Необходимо определить оптимальный план (в том числе и количественное значение цели системы), т.е. объем ресурсов, который нужен для достиже-

ния цели при отсутствии возмущений, ресурсы управления и соответствующие им допустимые управляющие воздействия. Результаты решения этой задачи в значительной степени зависят от штрафа за невыполнение плана. Чем он больше, тем целесообразнее высокий уровень ресурсов управления (затрат Z), так как увеличение Z обеспечивает уменьшение вероятности выполнения плана, и тем ниже достижимый уровень плана. Это справедливо для обоих типов систем. Одновременно определяется оптимальная точность управления, поскольку с возрастанием требований к ней возрастают затраты на управление. Последние могут стать соизмеримыми с потерями из-за отклонения от плана. Чтобы установить точность, необходимо располагать статистическими характеристиками возмущений и соответствующими им характеристиками отклонений $\Delta X(t)$. Такая задача решается на планирующем уровне АСУ (рис. 6).

Задача оптимизации управления заключается в проблеме выбора принципа управления, а, следовательно, структуры контура управления и конкретного управляющего воздействия. Выбор реализуется решающим устройством (рис. 6) по критериям (25), (26) в зависимости от типа системы, без учета затрат на создание и поддержание в работоспособном состоянии ресурсов управления. Это связано с тем, что величина Z не зависит от вида текущего управления и последнее необходимо выбирать, соизмеряя его «стоимость» E и эффект F .

Рассмотрим алгоритм работы решающего устройства. Полагаем, что задача оптимизации параметров управления решена, т.е. известны цель системы, m -мерный вектор ресурсов управления, соответствующая ему i -мерная область допустимых управлений и требуемая точность управления. Отклонение i -й компоненты состояния системы может быть ликвидировано разными управляющими воздействиями, различающимися качественно, количественно и по стоимости. Управление может быть построено по программному и по явному принципам. «Стоимость» принципов управления обусловлена в первом случае потерей оптимальности, а во втором – затратами на пересчет плана.

Цель решающего устройства – нахождение оптимальных по суммарным потерям управляющих воздействий. При этом возникает, как показано ранее, необходимость в прогнозировании некоторых параметров системы. Полагаем, что принцип прогноза определен. Кроме того, считаем, что известны текущее состояние системы $X(t)$, состояние ресурсов управления $R(t)$, желаемое состояние системы $X^*(t)$, ее цель $\langle X_k, t_k \rangle$ и тип. Обобщенный алгоритм решения задачи принятия решения об оптимальном управлении состоит из следующих этапов.

1. Проверяется принципиальная возможность достижения цели системы $\langle X_k, t_k \rangle$ с заданной точностью из идентифицированного состоя-

ния: $X_{\Phi}(\{t_k\}) \in X^{\circ}(t_k)$, где $X^{\circ}(t_k)$ – область допустимых конечных состояний системы. Размер этой области определяется требуемой точностью достижения цели. Если цель достижима, осуществляется переход к выбору принципа управления, в противном случае управление передается решающему устройству вышестоящего уровня иерархии управления (координатору). Структурная схема управления вышестоящего уровня аналогична описанной (рис. 6). На основании полученной информации координатор, если его ресурсы управления достаточны, может принять одно из двух решений: добавить ресурсы управления нижнему уровню, чтобы он мог парировать отклонение (это соответствует программному принципу управления); изменить цель $\langle X_k, t_k \rangle$ нижнему уровню, пересчитав планы всех взаимосвязанных систем (явный принцип управления). Выбор решения производится исходя из минимума суммарных потерь, т.е. по критерию (11). Если же ресурсы координатора недостаточны для решения задачи, он передает управление следующему уровню и т.д. Структура такой иерархической системы управления изображена на рис. 7, обозначения на котором аналогичны обозначениям на рис. 6.

2. По критерию (25) или (26) производится выбор принципа управления. При целесообразности программного управления подключается регулятор и реализуется его алгоритм управления, иначе — решается задача перерасчета программы управления.

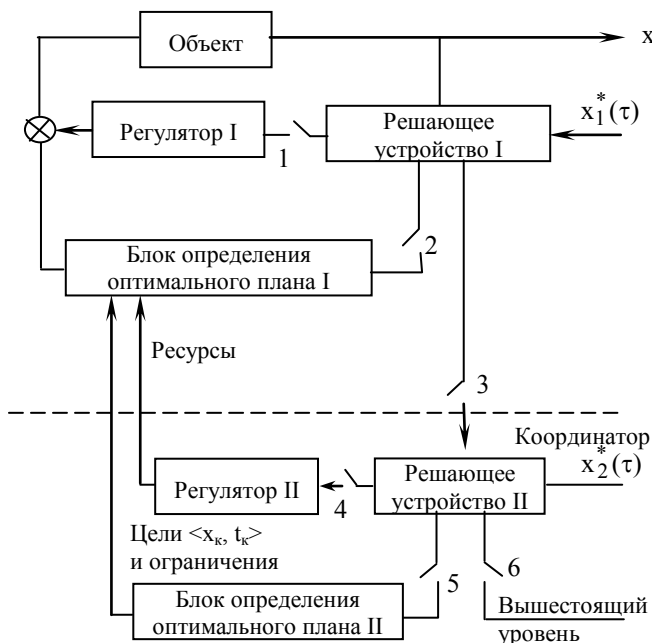


Рис. 7. Структура управления проектной организацией

В простейшем случае алгоритм принятия решения реализуется пороговым устройством, функционирующим в соответствии с такими соотношениями: $\Delta x(t) \leq \Delta x_3^{(1)}(t)$ (программное управление); $\Delta x_3^{(1)}(t) < \Delta x(t) \leq \Delta x_3^{(2)}(t)$ (явное управление); $\Delta x(t) > \Delta x_3^{(3)}(t)$ (передача управления координатору).

Детальный синтез и анализ алгоритмов принятия решений (адаптации) невозможен без конкретизации объекта управления.

Выводы. 1. Проблема управления процессом проектирования может быть интерпретирована как задача перевода объекта проектирования из некоторого состояния в конечное.

2. Одной из основных задач синтеза структуры автоматизированного управления процессом проектирования является выбор оператора формирующего воздействия структурной схемы управления реализующей его и экстремизированного набора критериев эффективности, учитывающих степень достижения целевого состояния и затраты ресурсов на реализацию управления.

3. Для осуществления управления процессом проектирования может быть применен явный с синтезом аналитической зависимости; программный, построенный на основе гипотезы о разделимости движений, т.е. задача разделяется на две: определение оптимального плана проектных работ и синтеза эффективного оперативного управления для ликвидации возникающих отклонений реального процесса от планового.

4. Учитывая достоинства и недостатки явного и программного принципов управления целесообразно применение универсальной системы управления, структура которой адаптируется к требованиям системы и в зависимости от этого осуществляет программный и явный принцип управления сочетая их достоинства.

5. Процесс проектирования целесообразно представлять в виде графа, где каждому узлу соответствует событие – начало или конец работы, ребру – работа, а для осуществления контроля и управления ходом проектных работ в виде ленточного графика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовский Н.Н. Теория управления движением – М.: Наука, 1968. – 476 с.
2. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. – М.: Наука, 1975. – 528 с.
3. Кузьмин И.В., Петров Э.Г. Анализ оптимальности систем автоматического управления по затратам материальных ресурсов // Приборы и системы автоматизации. – 1972. – Вып. 22. – С. 18 – 22.

Поступила 13.09.2005

Рецензент: доктор технических наук, профессор Э.В. Лысенко,
Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Харьков.
