

## Схема реализации сложного проекта в задаче автоматизированного проектирования многоцелевой технологической машины

# 01, январь 2011

автор: Павлов В. П.

УДК 519.7:624.

ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет.

г. Красноярск

В данной работе в качестве объекта проектирования рассматривается многоцелевая технологическая машина и, в частности, одноковшовый экскаватор (ЭО).

Одноковшовый экскаватор (ЭО) является ведущей машиной строительного производства. Оснащение экскаватора большим набором сменного рабочего оборудования и рабочих органов делает машину универсальной, многоцелевого назначения. Повышение конкурентоспособности создаваемых одноковшовых экскаваторов обеспечивают не только снижением себестоимости, а в большей степени повышением качества машин и максимального соответствия конкретным требованиям потребителя за счет разнообразия сменного рабочего оборудования и рабочих органов. Последнее обуславливает жесткие требования к этапу проектирования, на котором определяются основные технические, технологические и экономические параметры ЭО.

Практическая исчерпанность ресурса традиционной технологии теоретического исследования и проектирования ЭО затрудняет адаптацию разработчиков к быстро изменяющимся требованиям рынка, перестройке производственных процессов и тотального управления качеством. Существующие методологические подходы и программные средства проектирования ЭО дают лишь частичное решение проблемы целостности, не учитывают необходимость информа-

ционного обмена по этапам жизненного цикла (ЖЦ) машины, не обеспечивают процессов накопления информации, а деятельность разработчиков ЭО должна быть подкреплена усилиями программистов.

Для решения задач проектирования создана компьютерная среда [1, 2], главными блоками которой являются: расчет структурно-компоновочных характеристик ЭО; модели физически неоднородных процессов (рабочие процессы, приводные системы и др.); модели эффективности, обеспечивающие оценку закономерности изменения производительности и других показателей от главного параметра – массы ЭО (типоразмера ЭО) с учетом развития технологических параметров машины.

Современные средства проектирования (CAD/CAE-системы) обеспечивают различную технологическую последовательность выполняемых проектных процедур. Эта последовательность обеспечивается путем реализации организационных процедур и соответствующей настройки программного обеспечения. Восходящие и нисходящие алгоритмы проектирования могут начинаться с любого иерархического уровня. Поэтому формализованная последовательность выполнения процедур проектирования отличается, с одной стороны, некой общностью признаков, а с другой – множеством частных процедур, объединенных в задачи. Соответственно, первые будут именоваться в дальнейшем общей задачей проектирования (ОЗП), а другие – частными задачами проектирования (ЧЗП).

ОЗП представлена как элемент жизненного цикла машины. В соответствии с принципами системного анализа внешними условиями (реакциями) являются: техническое задание (ТЗ) на проектирование и возможности производства, представленные множествами  $X_0$  и  $Z_0$  (рис. 1).

Реакции  $(X_0, Z_0)$  в конкретной концепции проектирования выступают в роли ограничений. При известных ограничениях возможны, как правило, несколько реализуемых проектов, удовлетворяющих заданному ТЗ. Множество таких проектов  $D_x = \{x : V_0(x, X_0, Z_0) \leq 0\}$ , где  $V_0(x, X_0, Z_0) \leq 0$  – некоторое формальное условие допустимости проекта  $x$  при заданных  $X_0, Z_0$ . Для

оценки альтернативных вариантов проекта в общем случае используется ряд показателей (критериев)  $Y_0 = F_0(x, X_0, Z_0)$ .

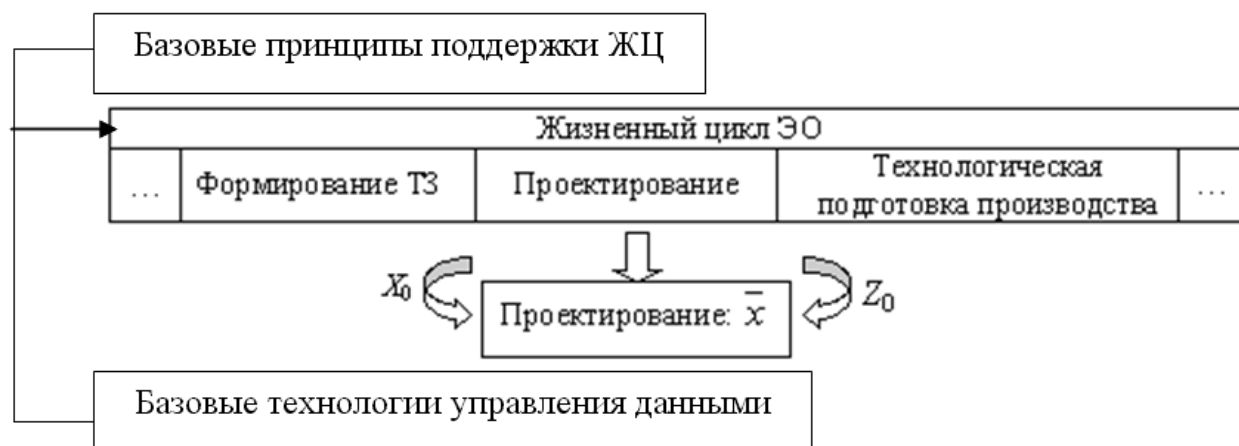


Рис. 1. Основные компоненты проекта как элемента жизненного цикла ЭО:  $X_0$  – задание на проектирование;  $Z_0$  – прогноз условий реализации проекта;  $\bar{x}$  – рациональный вариант проекта

Исходя из этого, необходимо наличие правила  $F_0$ , ставящего в соответствие  $\{x, X_0, Z_0\}$  значения компонент вектора критериев  $Y_0$ . В случае векторного критерия предполагается, что существует некоторое правило (правило обоснования)  $W_0$ , позволяющее по значениям критериев на множестве  $D_x$  определить наиболее предпочтительный (лучший) проект  $\bar{x}$ . Тогда в формализованном виде задача формирования рационального проекта (П) ЭО может быть представлена в виде следующего кортежа:

$$\dot{I} = \langle X_0, Z_0, \Omega_0, V_0, D_x, Y_0, F_0, W_0, \bar{x} \rangle,$$

где  $X_0$  – множество задач, возлагаемых на ЭО;  $Z_0$  – условия реализуемости проекта, учитывающие имеющуюся производственную базу и достигнутый научно-технический уровень;  $\Omega_0$  – множество рассматриваемых концепций проекта;  $V_0$  – формальное правило, выделяющее из множества рассматриваемых вариантов допустимые варианты;  $D_x$  – множество допустимых вариантов проекта;  $Y_0$  – вектор критериев, оценивающих предпочтительность допустимых вариантов проекта;  $F_0$  – правило, ставящее в соответствие каждому  $\{x, X_0, Z_0\}$  значения вектора критериев.

териев;  $W_0$  – правило выбора наиболее обоснованного варианта проекта из множества допустимых;  $\bar{x}$  – рациональный вариант проекта.

Понятие «рациональный проект» можно отнести к любой  $i$ -й подсистеме (агрегату, узлу и т.д.) ЭО, а совокупность рассматриваемых для ЭО проектов

$$\Pi = \bigcup_{j=1}^k \Pi_j : \langle X_0, Z_0, \Omega_0, V_0, D_x, Y_0, F_0, W_0, \bar{x} \rangle,$$

где  $k$  – количество уровней конструктивной иерархии.

Среда проектирования, поддерживающая предложенную методологическую схему проектирования ЭО, обладает способностью развертывания данной методологии в виде совокупности частных задач проектирования – ЧЗП (или линейной последовательности проектных процедур). Соподчиненность в последовательности выполнения проекта  $\Pi$  определяется следующей цепочкой: проектная операция  $\rightarrow$  проектная процедура  $\rightarrow$  ЧЗП  $\rightarrow$   $\Pi$ . Здесь стрелка обозначает отношение «принадлежит к». Совокупность ЧЗП решается для входного вектора, который объединяет вопросы, требующие ответа на данном шаге проектирования. Тогда ЧЗП представляет собой совокупность ответов на поставленные вопросы, т. е. результат решения некоторой ЧЗП. Проект  $\Pi$  отражает результаты выполнения процедур на определенной стадии проектирования, он включает сведения из ЧЗП. Формирование ЧЗП для заданного входного вектора  $q = \{x, X_0, Z_0\}$  осуществляется на основе методики  $Q^M$ . При заданном  $q$  методика  $Q^M$  позволяет получить различные варианты ЧЗП при заданных критериях, ограничениях, неуправляемых параметрах, а также выбранного метода оптимизации. Вектор  $q$  должен быть задан таким образом, чтобы существовала необходимая для его разрешения методика  $Q^M$ . ЧЗП является основой создания очередного вектора  $q_{i+1}$  с помощью операции  $Q^q$ . В общем случае формализации операции  $Q^q$  не существует, но она должна приводить к созданию разрешимого вектора  $q$ , то есть такого  $q$ , для которого существует методика  $Q^M$ .

Именно это обстоятельство порождает одно из основных требований к методологии проектирования ЭО – возможность создавать разрешимые входные векторы  $q$ , что обеспечивается такими известными приемами как идентификация, итерация, декомпозиция, агрегирование структурных элементов и характеристик. Линейная последовательность проектных операций может быть представлена в виде технологической схемы процесса проектирования, которая включает как методологические вопросы проектирования, так и методики решения ЧЗП (рис. 2). Анализ технологической схемы показывает, что для различных проектных решений  $x$  возможно построение одинаковых методик  $Q^q$ . Это позволяет, с одной стороны, свернуть технологическую схему, а с другой – выделить в операции  $Q^q$  отдельные действия, связанные с распознаванием ситуации, сложившейся после построения проекта  $\Pi$ . Операция распознавания ситуации обозначена как  $Q^P$ . Из рисунка видно, насколько существенно свертывается дерево после применения операции  $Q^P$ .

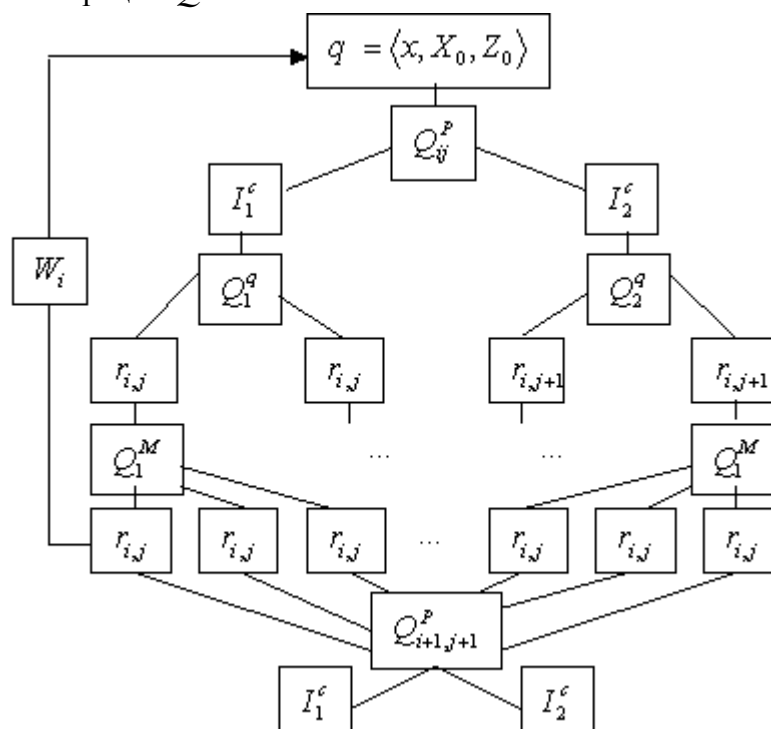


Рис. 2. Технологическая схема проектирования ЭО как последовательное решение частных задач проектирования:  $W_i$  – оператор, трансформирующий информацию с нижних уровней детализации в исходные данные

Таким образом, последовательность действий, задаваемых технологической схемой, определяется исходной информацией к проекту  $q = (x, X_0, Z_0)$ , а также циклом проектирования, включающем распознавание ситуации  $Q^P$ , методику  $Q^q$ , методику решения ЧЗП  $Q^M$ . Цикл завершается разработкой подпроекта на уровне ЧЗП, часть которого помещается в проект П.

Степень формализации операции  $Q^q$ , а, следовательно, и степень ее готовности к автоматизации проектных процедур, может быть различной. В наибольшей степени алгоритмизированы такие процедуры как расчет нагрузок в гидромеханизмах произвольной структуры, динамика приводных систем на базе физически неоднородных компонент, выбор расчетных положений манипуляционного рабочего оборудования, процедуры оптимизации и др. [1]. Для решения этих задач имеются соответствующие методики  $Q^M$ , а в случае появления проблемных (нетривиальных) задач увеличивается доля участия лица принимающего решения (ЛПР) в корректировке методики  $Q^M$ . При этом усиливается роль ЛПР в блоке  $Q^q$ , а при выработке информации  $I^c$  роль ЛПР становится ведущей. Процедура принятия решения является итеративной. По этой причине необходим диалог, в процессе которого от ЛПР требуется получение дополнительной информации в виде весовых коэффициентов, условий предпочтения и т. д.

Вместе с тем, ЛПР не всегда справляется с возложенными на него задачами в изменяющейся обстановке. Необходима взаимная адаптация ЛПР и ЭВМ, которая связана с учетом информации, получаемой от ЛПР в виде решающего правила. Адаптация ЛПР к задаче происходит в результате осмысления соотношения между своими потребностями и возможностями их достижения (рис. 3).

Задача принятия решения сводится к известной задаче оптимального проектирования. Множество допустимых вариантов решения задачи оптимизации характеризуется некоторой замкнутой областью  $x \in D_x$ , где  $x \in R^n$  – вектор параметров машины. В общем виде задача векторной оптимизации может быть записана следующим образом:

$$Y(x) = \{y_1(x), \dots, y_n(x)\} \rightarrow \max; D_x : h_j(x) \geq 0,$$

где  $x$  – искомое решение (или альтернатива),  $y_j(x)$  – критерии, частные показатели качества решения  $x$ ;  $h_j(x)$  – ограничения, совокупность которых определяет допустимое множество решений  $D_x$ .

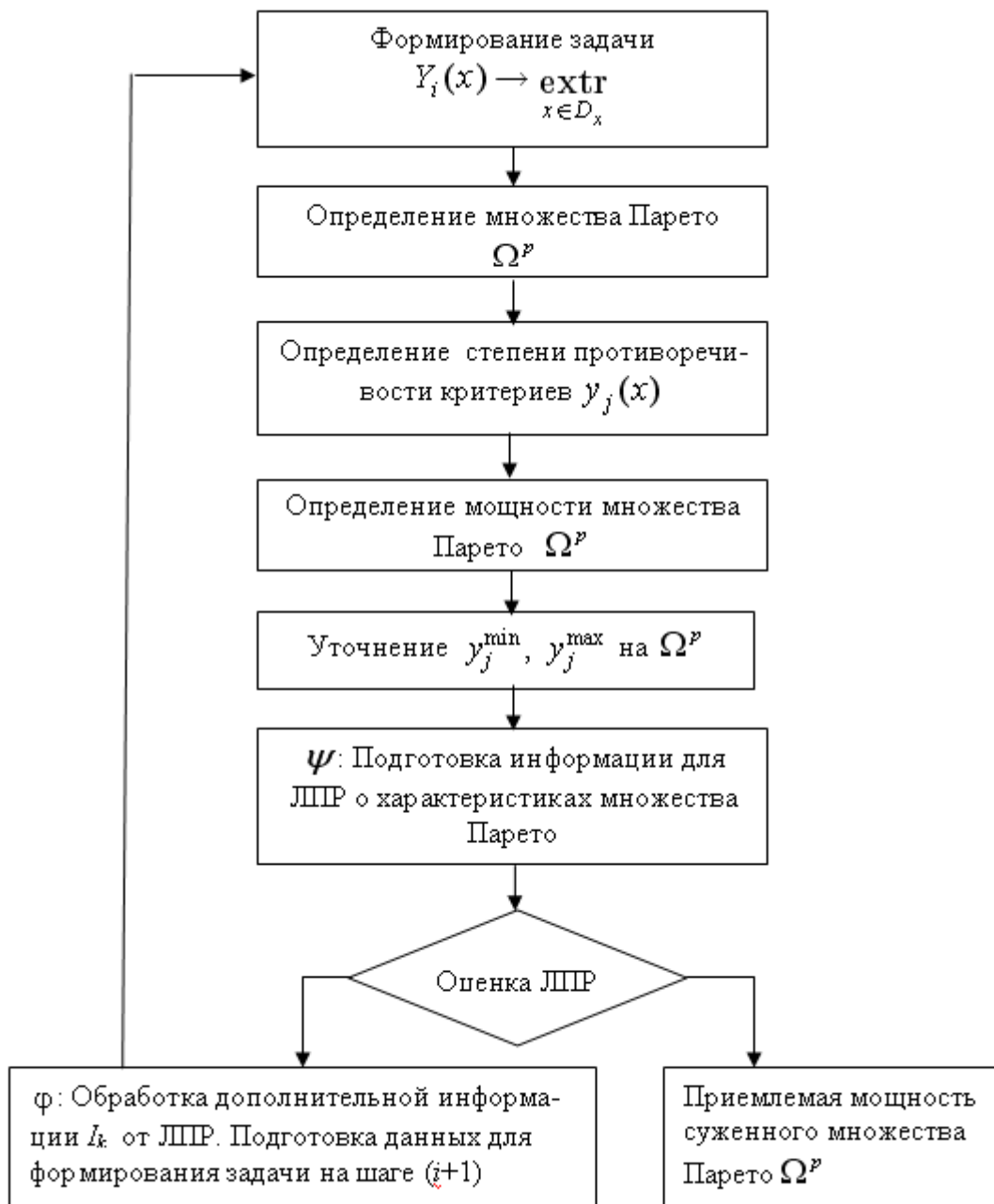


Рис. 3. Схема процесса сужения множества Парето и адаптации ЛПР к задаче

Как видно из приведенного рисунка, диалог на  $i$ -м шаге сводится к выдаче ЛПР множества Парето и его характеристик и запросу у ЛПР дополнительной информации и т. д. Под мощностью множества Парето мы понимаем критериальное пространство, характеризуемое составом вектора  $Y$  и диапазоном изменения частных критериев  $(y_j^{\min} - y_j^{\max})$ . Здесь символ  $Y_i(x)$  обозначает векторный критерий на  $i$ -м шаге, а  $y_j(x)$  и  $y_j^{\min}$ ,  $y_j^{\max}$  – частный критерий и его граничные значения.

Блок  $\psi$  подготавливает информацию о характеристиках множества Парето для ЛПР в удобной форме, а блок  $\varphi$  подготавливает данные для формирования задачи (на шаге  $i+1$ ).

Фаза оптимизации включает в себя следующие шаги: используя полученную информацию от ЛПР на предыдущем шаге, формируется новая задача оптимизации и новая область, допустимых решений; вычисляется соответствующее новым данным решение; вырабатывается информация для ЛПР.

Фаза анализа включает в себя: оценку предъявленного решения и определение его допустимости; если да, то процедура закончена, в противном случае анализируются новые условия формирования и передачи ЭВМ дополнительной информации  $I_k$ , с помощью которой можно вычислить новое решение. Такие человеко-машинные процедуры отличаются друг от друга содержанием и способом выполнения каждого из указанных шагов. Наиболее корректными с точки зрения ЛПР процедурами являются те, в которых взаимодействие ЛПР с ЭВМ производится в пространстве критериев.

Перераспределение решаемых задач между ЛПР и ЭВМ в компьютерной системе проектирования осуществляется по мере разработки новых алгоритмов, методик расчета, накопления знаний о прецедентах [2].

Разработанная технологическая схема проектирования многоцелевых технологических машин обеспечивает реализацию системных подходов как в сосредоточенных проектно-



производственных структурах, так и в сетевых электронных предприятиях, допуская различное участие ЛПР и ЭВМ в выполнении проекта.

#### Литература

1. Павлов, В. П. Основы системотехники многоцелевых землеройных машин: монография / В. П. Павлов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН; Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 332 с.
2. Павлов, В. П. Проблемы формализации процедур системного проектирования экскаваторов / В. П. Павлов // Строительные и дорожные машины. 2008. № 4. С. 45–48.