

УДК 004.9:658.512.6:621.311

## Разработка средств планирования процесса проектирования объектов топливно-энергетического комплекса на основе формализованного метода достижения ключевых результатов

Т.В. Гвоздева, Е.С. Целищев  
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
г. Иваново, Российская Федерация  
E-mail: Gvozdevs@inbox.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Процесс проектирования энергетического объекта сопряжен с рисками невыполнения обязательств проектной организацией перед заказчиком и, как следствие, несвоевременным вводом в эксплуатацию объекта топливно-энергетического комплекса. Планирование – это сложный и трудоемкий процесс, который играет ключевую роль в проектной деятельности. Применение преимущественно метода аналогий при построении модели процесса и, как результат, проектирование по итерационной схеме в настоящее время обусловлено отсутствием формализованных инструментов планирования по ключевым результатам, рекомендуемых PMI (Project Management Institute). Проведенные исследования показали, что современные информационные системы планирования, обеспечивая построение иерархической структуры работ (WBS-моделей, Work Breakdown Structure) проекта, не имеют функциональных возможностей для построения моделей объекта проектирования PBS (Product Breakdown Structure). Это отражается на снижении согласованности плана и увеличении количества проектных итераций. В связи с этим необходима разработка средства планирования процесса проектирования объектов топливно-энергетического комплекса, базирующегося на модели сложного объекта и методе построения модели процесса его проектирования.

**Материалы и методы:** Разработка модели процесса базируется на методе достижения ключевых результатов проекта и методе сетевого планирования, адаптированного к специфике проектов по объектам топливно-энергетического комплекса. Эмпирическую базу исследования составили сведения, полученные в ходе анализа архива проектов АО «Зарубежэнергопроект», специализирующегося на проектировании энергетических объектов в России и за рубежом. Построение модели энергетического объекта выполнено на основе руководств по типовому проектированию станций 200 МВт.

**Результаты:** Предложена структурно-параметрическая модель объекта проектирования, базирующаяся на иерархической системе классификации KKS (Kraftwerk Kennzeichen System). Разработан формализованный метод построения структурной модели процесса, позволяющий создавать план проекта в строгом соответствии с проектируемым энергетическим объектом. Выполнена алгоритмизация и реализация метода в среде MS SQL. Разработано программное средство, обеспечивающее хранение инвариантной модели энергетического объекта и ее итерационное развитие. Предложена модель IT-архитектуры проекта с учетом разработанного программного средства. Сформированы инвариантные модели энергетического объекта и процесса проектирования для специализации «Железобетонные и металлические конструкции».

**Выводы:** Результаты апробации методов и средств на примере специализации «Железобетонные и металлические конструкции» в АО «Зарубежэнергопроект» свидетельствуют о сокращении продолжительности проекта и снижении трудозатрат проектировщиков и подтверждают целесообразность их комплексного применения в процессах проектирования объектов топливно-энергетического комплекса.

**Ключевые слова:** энергетический объект, планирование проекта, модель объекта проектирования, модель процесса, архитектура проекта, система управления проектом.

## Development of planning tools for designing fuel and energy complex facilities based on a formalized method of achieving key results

T.V. Gvozdeva, E.S. Tselishchev  
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation  
E-mail: Gvozdevs@inbox.ru

### Abstract

**Background:** Design of a power facility is attended by risks of the project organization's nonfulfillment of its obligations to the customer and, as a result, delayed commissioning of the fuel and energy complex facility. Planning is a complicated and time-consuming process that plays a key role in design activities. Currently, the process model is mainly based on the method of analogies and, as a result, the design is conducted by an iterative scheme, which is explained by a lack of formalized tools of planning by key results recommended by PMI (Project Management Institute). The conducted studies have shown that modern information systems of planning ensure the construction of the WBS models (Work Breakdown Structure) of a project but do not have the functionality to build design object models PBS (Product Breakdown Structure). This leads to a decrease in plan coherence and an increase in the number of design iterations. The purpose of this study is to develop a tool of planning the process of fuel and energy complex facilities design, which is based on the complex object model and its design process model development method.

**Materials and methods:** The development of the process model is based on the method of planning the project key outcomes and the method of network planning, adjusted to the specifics of fuel and energy complex facilities projects. The empirical base of the study contained information obtained by analyzing the project archive of the Zarubezhenergo-proekt company, the leading design organization specializing in the energy facilities design in Russia and abroad. The model of an energy facility is constructed according to the guidelines for the model design of 200 MW power plants.

**Results:** A structural and parametric model of design object has been developed based on the hierarchical classification system KKS (Kraftwerk Kennzeichen System). A formalized method has been suggested for constructing a process model that enables developing a project plan in accordance with the energy facility type. The method has been algorithmized and implemented in MS SQL. The authors have developed a software tool ensuring the storage of the invariant model of the energy facility and its iterative development. This software tool was then used to develop a model of project IT-architecture. Invariant models of the energy facility and a model of design process for the Reinforced concrete and steel structures specialization have been developed.

**Conclusions:** The approbation results of the methods and tools by the example of Reinforced concrete and steel structures specialization at Zarubezhenergo-proekt indicate a reduction of project implementation time and designers' efforts, and confirm the feasibility of their complex application to designing fuel and energy complex facilities.

**Key words:** energy facility, project planning, model of design object, process model, project IT-architecture, project management system.

**DOI:** 10.17588/2072-2672.2016.6.075-086

**Введение.** Электрическая станция является технически сложным и уникальным объектом, а процесс ее проектирования – сложным видом производственной деятельности, к системе управления которой предъявляются особые требования – проектные. Жесткие требования, предъявляемые как со стороны заказчика, так и со стороны органов государственной регулирующей среды, высокая конкуренция, вынуждают проектные организации выполнять заказы на разработку в условиях высокого риска. В своем большинстве проекты выполняются с достаточными задержками по срокам, что отражается на своевременности ввода энергетических объектов в эксплуатацию. Высокие риски – это результат, в первую очередь, нерациональной организации на стадии планирования проекта. В соответствии с концепцией PMI план проекта является основным документом, устанавливающим параметризованную упорядоченную совокупность действий (работ), которые необходимо выполнить для достижения цели проекта – построение информационной модели объекта топливно-энергетического комплекса.

Модель организации проекта можно представить следующим образом:

$$P = \langle Pr, F, R \rangle,$$

где  $Pr$  – информационная модель энергетического объекта в форме проектной и рабочей документации;  $R$  – множество ресурсов, требуемых для выполнения проектных работ  $F$  и включающих кадровые, материальные, информационные ресурсы.

От того, насколько рационально выделены атрибуты  $Pr$ ,  $F$ ,  $R$  и на их множестве установлены отношения, зависит эффективность проекта.

Проектные требования заказчиков вынуждают проектные организации пренебрегать процессом планирования в связи с его высокой трудоемкостью. В таких условиях применение метода аналогий вполне оправдано, но заим-

ствование планов ранее выполненных проектов вызывает необходимость выполнять процедуру итерационного планирования на протяжении всего проекта. Отсутствие четкого плана, не находящегося в строгом соответствии с планируемым к проектированию объектом, приводит к неудовлетворительным результатам – высокой несогласованности, а следовательно, итерационности процесса проектирования, выражающейся в несоблюдении исходного плана и нарушении сроков договора. Проведенные исследования в ведущей проектной организации показывают, что с незначительными задержками выполняются проекты по модернизации отдельных узлов и систем (менее 20 %), в то время как крупные проекты по строительству электрических станций и отдельных блоков сдаются с задержкой по установленным срокам более 70 %.

**Материалы и методы.** Несмотря на невысокую эффективность применения метода аналогий, он активно используется в практике планирования проектов, вместе с тем осуществляется его развитие. Так, например, в [4, 7] предложен усовершенствованный подход к декомпозиции работ проекта и построения WBS-модели, в том числе представлен программный инструмент по его реализации.

Альтернативой активно используемому методу аналогий является метод планирования по ключевым результатам по методологии PMI, акцент на который сделан в четвертой редакции (A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Fourth Edition). Его применение смещает акценты планирования с процесса (как?) на результат (что?). Здесь следует отметить работы, в которых авторами обоснована необходимость разработки единой модели объекта проектирования, предложены формализованные методы ее построения [2, 5, 9]. Акцент на моделирование объекта в его иерархическом представлении PBS позволяет достигнуть согласованности процесса с содер-

жанием проектируемого объекта, но не обеспечивает возможность идентификации и рациональной организации отношений на множестве проектных работ.

Согласно выше обозначенному подходу к планированию, понимание достижения конечной цели  $Pr$  осуществляется через промежуточные результаты  $O$  и их взаимосвязь. Для каждого промежуточного результата определяется работа по его выполнению. При проектировании энергетического объекта под промежуточными результатами следует рассматривать элементы объекта (их информационные модели), на множестве которых должны быть заданы отношения порядка.

В настоящее время рынок насыщен инструментальными средствами, обеспечивающими программную поддержку информационной технологии планирования проектов, базирующейся на современных методологиях проектного управления (например, свод правил PMI и его производные PMBOK). Результаты исследования показали, что существующие ИТ (например, реализуемые на широко используемых инструментах Primavera и MS Project) базируются на методах календарно-сетового планирования, обеспечивая поддержку пользователя в установлении и оптимизации отношений на множествах  $F$  и  $R$ . Наличие шаблонов WBS позволяет применять метод аналогий, когда исходно создается расширенная структура работ проекта (источником может являться наиболее успешный план проекта) и на ее основе осуществляется построение рабочих планов, содержащих дополнения или изменения к шаблону. Итоговые и промежуточные результаты проекта PBS, требуемые для применения метода планирования по ключевым результатам, функции их создания и использования не предусмотрены в существующих средствах. Это свидетельствует об отсутствии информационной поддержки процесса построения модели процесса в соответствии с моделью объекта проектирования, которая в ее иерархическом представлении для топливно-энергетического комплекса представлена системой KKS. Эта система представляет функциональную иерархическую структуру объекта проектирования, позволяя развивать и дополнять ее.

**Метод формирования модели процесса проектирования энергетического объекта.** Модель процесса устанавливает технологический алгоритм проектирования энергетического объекта  $O$  и может быть задана следующим образом:

$$M^T = \langle P, L_p \rangle; \quad P = P^T, P^3, P^Y, P^{TP}, \quad (1)$$

где  $P$  – работы проекта;  $L_p$  – отношения порядка на множестве работ проекта, задаваемые правилами  $Pr$ ;  $P^T$  – технологические работы проекта;  $P^{TP}$  – технологические работы, вы-

полняемые подрядчиком на основе задания на выполнение работ;  $P^3$  – работа по подготовке задания на технологическую работу;  $P^Y$  – организационные процедуры.

Технологическая работа – это действие по преобразованию исходных требований в модель объекта в целом или его отдельного элемента в соответствии с действующими нормами, регламентированными регулирующей средой и заказчиком.

Задание на выполнение технологической работы – это набор исходных требований, в соответствии с которыми должны быть разработаны соответствующие элементы объекта проектирования.

Организационные процедуры – это действия, направленные на повышение организованности проекта и включающие операции по согласованию отдельных моделей, экспертизе, в том числе с заказчиком и подрядчиками, оценке промежуточных результатов, оперативной координации исполнителей и прочее.

Технологический процесс проектирования  $M^T$  является основой для определения состава и последовательности работ, способов и методов проектирования, состава информационного обеспечения, номенклатуры технических и программных средств, состава и квалификационного уровня проектировщиков, трудоемкости, продолжительности и стоимости проектирования.

Каждая отдельная технологическая работа нуждается в параметризации. В качестве параметров, согласно методам календарно-сетового планирования [6], выделяются время  $t$  и объем ресурсов  $R$ , необходимых для составления календарного плана производства работ и сетевого графика:

$$P = P_i | K, \quad K = t, R. \quad (2)$$

Процесс в соответствии с моделью (1) направлен на производство модели энергетического объекта, сложность этого процесса обуславливает необходимость применения отношений иерархического порядка [1] в описании его структуры:

$$O^{j+k} \subseteq \dots \subseteq O^{j+1} \subseteq O^j \subseteq O^{j-1} \subseteq \dots \subseteq O^{j-k}. \quad (3)$$

Для формирования структуры объекта использована общепринятая в отрасли система KKS, базирующаяся на функциональной и агрегатной классификации элементов энергетического объекта, в том числе включающая территориальный классификатор (РД 153-34.1-35.144).

Модель процесса  $M^T$ , согласно методу конечных результатов, должна задаваться исходя из модели проектируемого объекта  $O$ , его структуры, которую в формализованном виде можно описать следующим кортежем:

$$O = \langle O^j, L_O, F, A, D \rangle, \quad (4)$$

где  $O^j$  – элементы объекта (системы, агрегаты, узлы и пр.);  $L_O$  – связи на множестве элементов объекта;  $F$  – функция элемента, устанавливающая его роль в объекте и его месторасположение  $A$ ;  $D$  – документация установленного образца, фиксирующая модель элемента(-ов) объекта проектирования в соответствии с принципом иерархичности его представления.

Каждый информационный объект может быть представлен его параметрической моделью:

$$\forall O^j : (X, Y), \quad X = (x_1, \dots, x_g), \quad Y = (y_1, \dots, y_v),$$

где  $X$  – множество параметров или показателей (конструктивные, технологические и пр.) одного или более элементов объекта, необходимых для создания модели  $D^j$ ;  $Y$  – множество выходных параметров или показателей элемента  $O^j$ , содержащих необходимые сведения об элементе, характеризующих его состояние и поведение.

Если  $X^{O^j} \subset Y^{O^k}$ , то это свидетельствует о наличии частной связи между объектами  $O^j$  и  $O^k$  посредством подготовки задания на проектирование. При участии в связи более чем одного элемента задание будет носить комплексный характер:  $X^{O^j} = \cup Y^{O^k}$ . Таким образом, связи в структуре объекта устанавливаются на основе соответствия входных  $X$  и выходных  $Y$  параметров элементов.

На множестве элементов кортежа (4) можно установить следующие соответствия:

1)  $C_1 \subseteq O^j \times F$  – устанавливает необходимость и возможность включения элемента в объект в соответствии с выполняемой им функцией. Соответствие  $C_1$  обладает следующими свойствами:

- всюду определено – каждый элемент должен выполнять функцию;
- сюръективно – каждая функция должна быть выполнена;
- функционально – каждый объект выполняет только одну функцию (здесь следует учитывать иерархичность отношений на множестве функций объекта проектирования (5)):

$$F^{j+k} \subseteq \dots \subseteq F^{j+1} \subseteq F^j \subseteq F^{j-1} \subseteq \dots \subseteq F^{j-k}; \quad (5)$$

- не инъективно – одна и та же функция может быть выполнена несколькими объектами;

2)  $C_2 \subset O^j \times A$  – устанавливает размещение элементов сложного объекта. Соответствие  $C_2$  обладает следующими свойствами:

- всюду определено – каждый элемент должен иметь свое место размещения;
- сюръективно – место предназначено для размещения элементов объекта;
- функционально – каждый объект может быть размещен только в одном месте (здесь следует учитывать иерархичность отношений

на множестве местоположений объекта проектирования (6)):

$$A^{j+k} \subseteq \dots \subseteq A^{j+1} \subseteq A^j \subseteq A^{j-1} \subseteq \dots \subseteq A^{j-k}; \quad (6)$$

- не инъективно – в одном месте может быть размещено несколько элементов объекта проектирования;

3) Для отношения  $C_3 \subseteq P \times O^j$  между работами проекта и объектом проектирования выделим следующие свойства:

- всюду определено – каждая работа направлена на создание модели элемента объекта;
- сюръективно – каждая модель элемента объекта требует работы по ее созданию;
- функционально – каждая работа направлена на создание только одной модели;
- не инъективно – каждая модель элемента объекта предусматривает необходимость выполнения одной или более работ.

На основе выделенных соответствий и представления (4), базируясь на положениях календарно-сетевого планирования (правилах построения сетевых графов [8]), сформулированы правила формирования модели процесса Пр:

1. Любая конечная технологическая работа по проектированию элемента объекта должна инициировать работу по созданию задания на выполнение последующих работ. Технологическая работа является конечной по отношению к элементу, когда модель элемента признается готовой по ее завершению. Для конечной работы существуют только предшествующие работы, последующей является работа по подготовке задания на следующий элемент объекта, обозначающая смену специализаций.

2. Любая технологическая работа не может быть начата раньше, чем выполнена работа по созданию задания (частного или комплексного) на ее выполнение. Задание на технологическую работу является источником данных, необходимых для проектирования смежных элементов или элементов следующего иерархического уровня (система, агрегат, узел и пр.).

3. Сборка систем, узлов, агрегатов и пр. сопровождается процедурой согласования (переход с уровня  $j+1$  на уровень  $j$ ) и выполняется не раньше, чем завершены все работы по производству элементов систем, узлов, агрегатов. Согласование обязательно при приемке технологической работы, выполняемой подрядчиком.

4. Последовательная связность между двумя работами устанавливается на основе технологической зависимости, обусловленной ресурсно-продуктными отношениями, когда результат выполнения одной из работ является ресурсом для выполнения второй, другими

словами, в соответствии с параметрической моделью элемента проектирования.

5. Технологическая работа по созданию модели элемента объекта может быть начата раньше, чем завершена работа по созданию смежного элемента уровня  $j$  при условии наличия всех исходных требований (задания на работу  $j+1$ ). Этим правилом определяется возможность распараллеливания проектных работ. Отсутствие входных параметров и показателей обуславливает необходимость технологического ожидания или простоя.

Отношения порядка на множестве работ проекта, реализующие приведенные выше правила, схематично представлены на рис. 1.

Процесс создания модели процессов проекта носит итерационный характер, каждая итерация устанавливается по (3) и предусматривает последовательное установление соответствий  $C_1, C_2$  и  $C_3$ .

Каждый заказ уникален, что определяет необходимость формирования структуры объекта и модели процессов на основе заданных инвариантных моделей  $O^И$  и  $M^{ТИ}$  (рис. 2), для которых справедливы следующие отношения:

$$O^И \xrightarrow{Pr} M^{ТИ}, \quad O^З \xrightarrow{Pr} M^P.$$

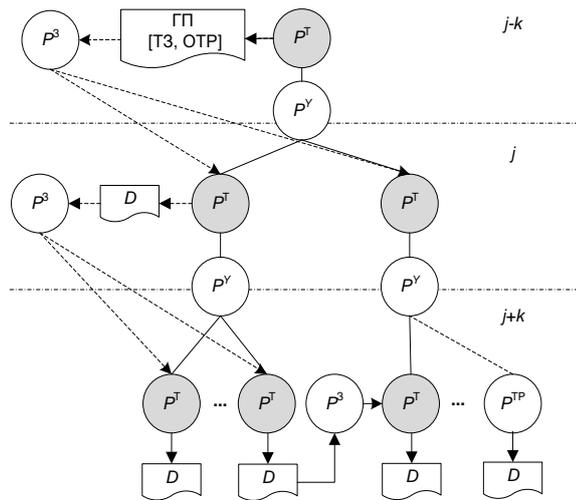


Рис. 1. Схема иерархии работ проекта: технологические работы, организационные и подготовка заданий

Структура объекта заказа может быть определена как

$$O^И \xrightarrow{B} O_h^j, \quad O_h^j \xrightarrow{Pr} M^P, \quad (7)$$

где  $B$  – функция выбора инженером проекта комплекта объекта заказа;  $O_h^j$  – объект заказа (станция, блок, агрегат, корпус и пр.);  $j$  – устанавливает уровень сложности заказа, его комплексности.

В соответствии с (3), в состав объекта проектирования будут включены все элементы  $O_h^{j+k}$ , а также смежные элементы уровня  $j$ .

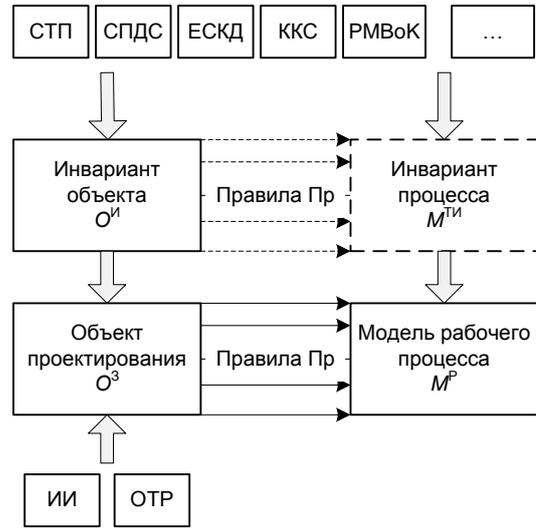


Рис. 2. Схема формирования моделей проекта

В соответствии с (3), для каждого нового объекта должна быть установлена степень его декомпозиции ( $j+k$ ), которая зависит от требований заказчика. Возможность применения типовых элементов объекта не требует декомпозиции элемента и технологических работ по его созданию, в то время как специфика элемента  $O_h^{j+k}$  (технологическая, территориальная и пр.) обуславливает необходимость совершенствования как структуры объекта  $O$ , так и модели процессов  $M^T$  посредством  $P^{3k}$ :

$$\begin{aligned} O|З &= O \cup O_h^{j+k}; \\ P|З &= P \cup P^{3k}; \\ P^T|З &= P^T \cup P^{3k}. \end{aligned} \quad (8)$$

**Программные средства планирования процесса проектирования объектов тепло-энергетического комплекса.** Концептуальное представление объекта (1)–(6), сформулированные соответствия и правила позволили разработать логическую модель базы данных – репозиторий модели объекта и процесса. База организована посредством выделения информационных объектов и отношений между ними (рис. 3), в том числе поддерживающих свойство рефлексивности, что позволяет реализовать иерархические отношения (3)–(5). Наличие интерфейса доступа конечного пользователя позволяет создавать объект проектирования  $O^j$  и настраивать рабочий процесс  $M^P$  на основе требований заказчика (7).

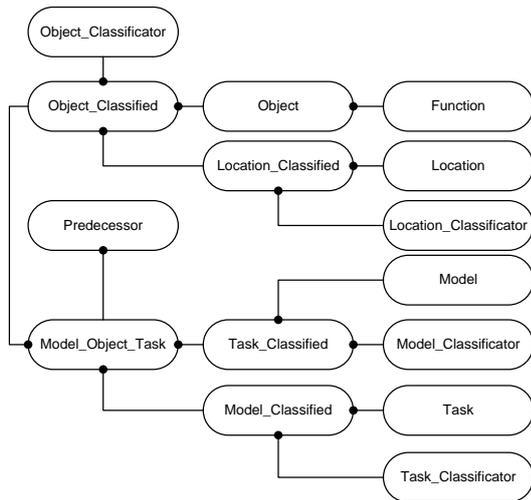


Рис. 3. Фрагмент схемы логической модели базы данных

Система управления проектом функционирует на основе модели процесса в его иерархическом представлении WBS, либо генерируемой в среде управления, либо экспортируемой из внешних подсистем. Наличие «репозитория» проекта позволяет осуществлять создание модели проекта исключительно на основе модели объекта, заданного его иерархическим представлением PBS. Включение «репозитория» в архитектуру проекта обеспечивает следующие преимущества:

а) возможность создания унифицированной модели энергетического объекта проектирования и возможность ее актуализации, необходимость которой возникает в соответствии с (7) и (8), что обуславливает постепенный переход от PSWBS-модели к WBS-модели;

б) формирование модели процесса проектирования в строгом соответствии с требованиями к объекту проектирования (выполне-

ние соответствия  $C_3$ ), ее актуализация в соответствии с пунктом а); проектная документация выполняется с объектной привязкой к проектным работам со строгим согласованием между отдельными частями проекта.

Реализация п. а) и б) обеспечивает повышение согласованности проекта и направлена на экономию временных ресурсов на этапах инициации и планирования проекта;

в) применение единой системы классификации и кодирования объектов, проектной документации и работ проекта (4) с последующей внутримашинной передачей информации на всех этапах разработки проектной документации, что обеспечивает возможность строгой идентификации и определения соответствия  $C_3$ , а следовательно, повышение организованности и наблюдаемости процесса, в том числе, при реализации отношений с подрядчиками проекта;

г) выполнение проектных работ с жесткой последовательностью всех процедур.

**IT-архитектура проекта.** Исходное кодирование объектов, а следовательно, и обязательной документации проекта, осуществляется в репозитории. Унифицированные проектные идентификаторы становятся обязательными для всех участников проекта. Доступ к моделям объекта осуществляется централизованно, с использованием систем технического документооборота (например, программное средство TDMS от компании CSoftDevelopment), функционирующих самостоятельно или на базе портала проекта. Информационные и организационные отношения, определяющие IT-пространство проекта, представлены на рис. 4.

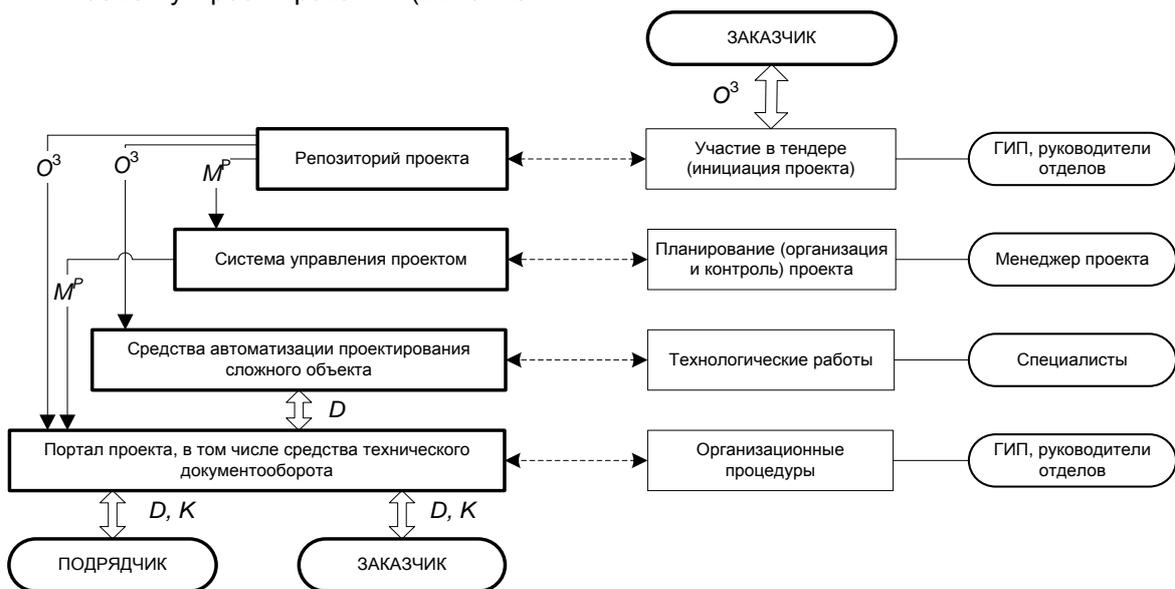


Рис. 4. Схема IT-архитектуры проекта, включая представления участников проекта, работ проекта и средств автоматизации проектной деятельности

**Пример построения модели проекта для специализации.** Апробация предложенной информационной технологии планирования выполнена на примере специализации «Железобетонные и металлические конструкции». Результаты анализа архива проектов ведущей проектной организации, нормативных требований к маркам чертежей КМ и КЖ по ГОСТ Р 21.1101-2013 позволили выполнить проектирование инварианта и сформировать  $M^{TI}$  (табл. 1–4).

Руководствуясь схемой подготовки заданий на проектирование, представленной в издании «Номенклатура технических заданий и требований по их выполнению для разработки рабочих чертежей тепловых электростанций» (Теплоэлектропроект, Ленинградское отделение), результатами опроса специалистов, на множестве выделенных объектов (табл. 1) установлены отношения  $L_0$ . На основе табл. 1–5 сформирован и наполнен репозиторий проекта по рассматриваемой специализации.

В соответствии с правилами (1)–(5) сформирована инвариантная модель процесса. Результаты импорта модели процесса для выделенной специализации в среду проектного управления Primavera представлены на рис. 5, 6.

Сформированный план проекта включил ряд технологических работ, реализация которых невозможна без подготовки заданий (табл. 6). Сравнение множеств технологических работ сформированного плана и рабочих планов по реализуемым в настоящее время проектам показало отсутствие различий между ними. Это обусловлено наличием строгих нормативных требований к проектной документации по рассматриваемой специализации. Подготовка задания как отдельная работа ранее в планах не предусматривалась. Количество работ в сетевом графе увеличилось практически вдвое за счет ввода заданий, что не повлияло на длительность технологической части ввиду нулевой продолжительности работ. Задания повышают порядок на множестве работ и не допускают запуск тех работ, для которых не выполнена подготовка исходных данных, что, по мнению представителей проектной органи-

зации, позволяет значительно снизить количество итераций, выполняемых специалистами.

Таблица 1. Перечень элементов объекта для специализации «Железобетонные и металлические конструкции»

№ п/п	Наименование
1	Фундамент
2	Подземное хозяйство
3	Фундамент под котлоагрегат
4	Каркас
5	Фахверк стенового ограждения
6	Пути подвешного транспорта
7	Межэтажные перекрытия
8	Консольные мостики
9	РУСН
10	Временные торцы
11	Пожарные лестницы
12	Опорные конструкции под технологические установки
13	Площадки обслуживания под технологические установки
14	Опорные конструкции кабельных трасс
15	Площадки обслуживания кабельных трасс
16	Надземная часть ТДУ
17	Подземная часть ТДУ
18	Подземная часть золоуловителей
19	Установка трансформаторов
20	Пути перекатки трансформаторов
21	Грозозащита
22	Заземление
23	Наружное освещение
24	Охранное освещение
25	Ограда
26	Опорные конструкции газоходов
27	Площадки обслуживания газоходов
28	Подземная часть
29	Надземная часть
30	Фундаменты эстакад
31	Надземная часть эстакад
32	Баковое хозяйство

Таблица 2. Перечень месторасположений элементов объекта проектирования

№ п/п	Уровень иерархии	Родитель	Наименование
1	1	-	Площадка
1.1	2	1	Главный корпус
1.1.1	3	1.1	Турбинное отделение
1.1.2	3	1.1	Котельное отделение
1.1.3	3	1.1	Бункерно-деаэрационное отделение
1.2	2	1	Пристанционный узел
1.3	2	1	Вспомогательные здания и сооружения

Таблица 3. Таблица соответствий на множествах элементов проектирования и их месторасположений С<sub>2</sub>

Элементы объекта	Месторасположение элементов объекта						
	1	1.1	1.1.1	1.1.2	1.1.3	1.2	1.3
1		1-1.1					
2			2-1.1.1	2-1.1.2	2-1.1.3		
3		3-1.1					
4		4-1.1					
5		5-1.1					
6		6-1.1					
7			7-1.1.1	7-1.1.2	7-1.1.3		
8			8-1.1.1	8-1.1.2	8-1.1.3		
9		9-1.1					
10		10-1.1					
11		11-1.1					
12		12-1.1					
13		13-1.1					
14		14-1.1					
15		15-1.1					
16		16-1.1					
17		17-1.1					
18		18-1.1					
19						19-1.2	
20						20-1.2	
21						21-1.2	
22						21-1.2	
23						23-1.2	
24						24-1.2	
25						25-1.2	
26						26-1.2	
27						27-1.2	
28							28-1.3
29							29-1.3
30	30-1						
31	31-1						
32	32-1						
33	33-1						

Таблица 4. Перечень документов и их комплектов, фиксирующих модели элементов объекта

№ п/п	Наименование	Комплект
1	Общие данные	КЖ, КМ
2	Расчеты	–
3	Схемы расположения элементов	КЖ, КМ
4	Разрезы	КЖ, КМ
5	Геометрические размеры конструкций	КЖ
6	Армирование конструкций	КЖ
7	Чертежи закладных марок	КЖ
8	Чертежи монтажных марок	КЖ
9	Чертежи арматурных каркасов	КЖ
10	Чертежи арматурных сеток	КЖ
11	Техническая спецификация стали	КМ
12	Узлы	КМ
13	Сечения	КЖ

Таблица 5. Модели КЖ объекта 1-1.1 «Фундамент Главного корпуса»

№ п/п	Название модели
1	Общие данные
2	Схемы расположения элементов
3	Разрезы
4	Геометрические размеры конструкций
5	Армирование конструкций
6	Чертежи закладных марок
7	Чертежи монтажных марок
8	Чертежи арматурных каркасов
9	Чертежи арматурных сеток

Идентификатор работы	Предшественники	Название работы
Р-П3-Ф-000М	Р-В0-001-Ф-000М, Р-В0-002-Ф-000М, Р-В0-003-Ф-000М	Разработка Общие данные Фундамент Главный корпус
Р-С-Ф-000М		Разработка Схемы расположения элементов Фундамент Главный корпус
Р-В0-001-Ф-000М		Разработка Разрезы Фундамент Главный корпус
Р-Г4-Ф-000М		Разработка Геометрические размеры конструкций Фундамент Главный корпус
Р-В0-002-Ф-000М		Разработка Армирование конструкций Фундамент Главный корпус
Р-Ч-001-Ф-000М		Разработка Чертежи закладных марок Фундамент Главный корпус
Р-Ч-002-Ф-000М		Разработка Чертежи монтажных марок Фундамент Главный корпус
Р-В0-003-Ф-000М		Разработка Чертежи арматурных каркасов Фундамент Главный корпус
Р-В0-004-Ф-000М		Разработка Чертежи арматурных сеток Фундамент Главный корпус

Рис. 5. Фрагмент перечня работ проекта в среде управления Primavera

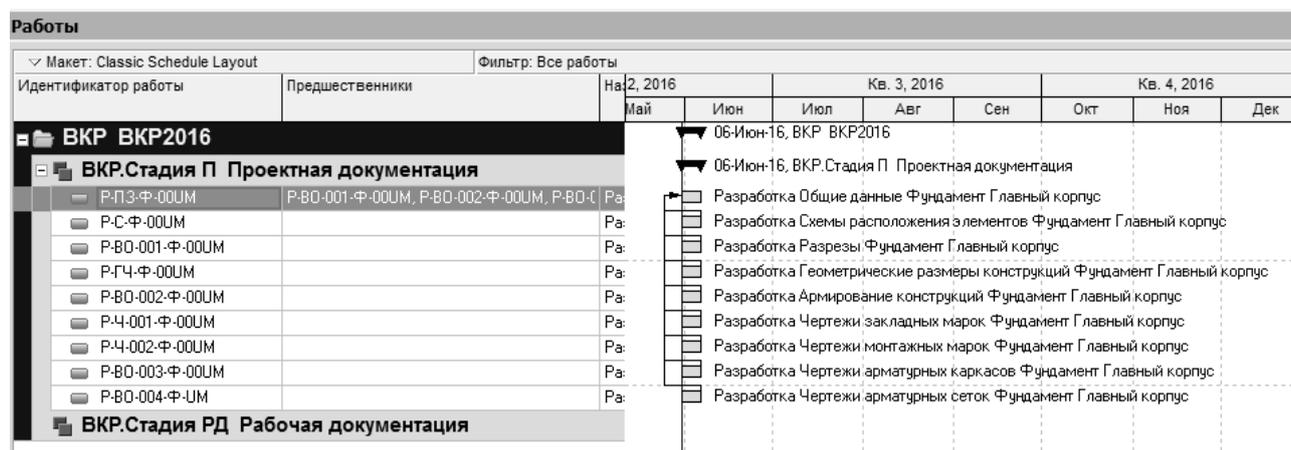


Рис. 6. Фрагмент отношений на множестве работ в среде управления Primavera

Таблица 6. Пример множества отношений, выявленных на множестве элементов объекта «железобетонные конструкции» (ЖК) и «металлические конструкции» (МК) (этап рабочего проектирования)

№ п/п	Элемент проектирования	Задания / элемент-источник (смежный)	Чертежи / элемент-источник (ЖК и МК)
	Железобетонные и металлические конструкции		
1.	Главный корпус		
1.1.	Машинный зал		
1.1.1.	Каркас		
1.1.1.1.	Каркас машзала (основные несущие конструкции)	Тепломеханическая часть	
1.1.1.2.	Каркас машзала (полный объем)	Тепломеханическая часть	Каркас машзала (основные несущие конструкции)
1.1.2.	Монолитные ЖБ перекрытия (расчет)	Тепломеханическая часть, электротехническая часть, водопровод и канализация, отопление и вентиляция	Каркас машзала (полный объем)
1.1.3.	Монолитные ЖБ перекрытия		Монолитные ЖБ перекрытия (расчет)
1.1.4.	Металлоконструкции стенового фахверка	Тепломеханическая часть, электротехническая часть, водопровод и канализация, отопление и вентиляция	Каркас машзала (основные несущие конструкции)
1.1.5.	Фахверк внутренних перегородок	Тепломеханическая часть, электротехническая часть, водопровод и канализация,	Каркас машзала (полный объем)
1.1.6.	Опорные конструкции и площадки технологического оборудования (расчет)	Тепломеханическая часть, электротехническая часть	
1.1.7.	Опорные конструкции и площадки технологического оборудования		Опорные конструкции и площадки технологического оборудования (расчет), каркас машзала (полный объем)
1.1.8.	Опорные конструкции и площадки токопроводов (расчет)	Электротехническая часть	
1.1.9.	Опорные конструкции и площадки токопроводов		Опорные конструкции и площадки токопроводов (расчет), каркас машзала (полный объем)
1.2.	Электротехнические помещения		
1.2.1.	Подземное хозяйство	Тепломеханическая часть, электротехническая часть, водопровод и канализация, отопление и вентиляция	Каркас машзала (полный объем)
1.2.2.	Каркас		
1.2.2.1.	Каркас электротехнических помещений (основные несущие конструкции)	Тепломеханическая часть, электротехническая часть, водопровод и канализация, отопление и вентиляция	Каркас машзала (основные несущие конструкции)
1.2.2.2.	Каркас электротехнических помещений (полный объем)	Тепломеханическая часть, электротехническая часть, водопровод и канализация, отопление и вентиляция	Каркас электротехнических помещений (основные несущие конструкции)

**Оценка результатов и развитие предлагаемого подхода к планированию.** Изменение структуры проекта посредством ввода работ по подготовке заданий повышает наблюдаемость и управляемость проекта, что имеет высокую значимость на этапе рабочего проектирования. Предлагаемый подход к планированию не лишен недостатков. Они в большей степени характерны для стадии эскизного проектирования, требующей наличия заполненной в полном объеме всеми необходимыми данными БД на самых ранних этапах, что определено моделью объекта. В связи с тем, что необходимые для выполнения проектных процедур и операций (технологических работ) данные являются результатом осознанного и аргументированного выбора, выполняемого смежными отделами, а их поступление чаще всего происходит с большими задержками, наличие такой БД крайне затруднительно, а следовательно, технологические простои гарантированы. Сокращение сроков проектирования возможно за счет распараллеливания процесса между отдельными специальностями. Препятствием этому является правило 5.

Отмеченная проблема может быть решена за счет применения современных технологий автоматизированного проектирования на всех этапах проекта. Так, например, в настоящее время разработана и проходит апробацию новая технология автоматизированного проектирования сложных электротехнических систем [3]. Сложность структуры таких систем обусловлена ее многокомпонентностью и наличием тесных взаимосвязей со смежными структурами проектной организации. Вместе с тем наличие аналогичных по функциональности технических средств внутри каждого типа обуславливает их взаимозаменяемость и определяет возможность выполнения неполного проектирования оборудования в той его части, для которой отсутствуют входные данные. Это возможно за счет унификации элементов и выделения унифицированных параметров для любого производителя.

Согласно этой технологии, на эскизной стадии проектирования осуществляется преимущественно с использованием унифицированных элементов путем их добавления в проект, тогда как на рабочей стадии выполняется конкретизация используемых технических средств, переход от унифицированных элементов, подключений к частным (в соответствии с номенклатурой завода изготовителя). При внесении в проект дополнительной информации, что обуславливается высокой связностью между специальностями, предусматривается возможность добавления новых элементов и подключений. Переход к использованию унифицированных технических средств в составе унифицированных типовых схем электрического подключения и монтажа обеспечи-

вает сокращение объема альбома типовых схем и его применение с минимумом входных данных  $X$ . В отличие от традиционного подхода, при назначении элементам функциональных параметров необходимо обеспечить только возможность соединения элементов между собой, поскольку при отсутствии информации по отдельным характеристикам элемента для выбора унифицированной схемы управления достаточно знать другие. Так, например, условия управления, необходимый объем сигналов и общая структура схемы питания будут достаточны для выбора модели силового блока при отсутствии решений по модели электропривода. Такая логика выполнения проектных работ обеспечивает возможность получения всех необходимых данных на ранних стадиях, в том числе из смежных отделов, при сокращении их объема, обеспечивая достаточность.

Применение такого подхода позволяет существенно сократить сроки эскизной стадии проекта и достичь, в том числе, более высокого уровня автоматизации процесса проектирования и, следовательно, снизить трудозатраты проектировщиков. Отсутствие необходимости подготовки заданий для ряда проектных процедур за счет высокой степени автоматизации работ (внутренние задачи САПР) позволяет снизить сложность сетевого графа, а следовательно, уменьшить нагрузку на менеджера проекта.

Возможные незначительные отклонения по степени достоверности результатов эскизной стадии компенсируются минимизацией трудозатрат на уточнение входных данных, перепроектирование и допроектирование элементов на рабочей стадии проекта, характеризуемой более высокой степенью организации на множестве автоматизируемых технологических работ при значительном снижении зависимостей от внешней информации. Такого рода оптимизация работ на эскизной стадии непосредственно отражается на рабочей стадии, обеспечивая возможность более раннего запуска технологических работ. Так, например, наличие  $Y$  по электротехнической специализации позволяет выполнить запуск расчета по опорным конструкциям и площадкам токопроводов для специализации ЖК и МК (см. табл. 6).

## Заключение

Предложенный подход к планированию проекта, выполненный в полном соответствии с методологией управления проектами PMI, дополняет и развивает ее посредством формализации процесса структурного планирования – разработки алгоритма проекта. Применение инвариантных моделей объекта и процесса проектирования позволяет унифицировать кодирование и идентификацию модели проекта  $P$ , а также проектной документации в

рамках всего проекта. Инструментальное средство «репозиторий» реализовано с использованием системы управления реляционными базами данных MS SQL, обеспечивающей возможность легкой интеграции с другими системами управления проектной деятельностью. Внедрение репозитория в IT-архитектуру проекта, как показывают результаты апробации, позволяет повысить организованность проектной деятельности, а следовательно, снизить риски проекта по созданию и модернизации информационных моделей энергетических объектов, что соответствует требованиям распоряжения Правительства РФ «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года».

#### Список литературы

1. **Белов А.А.** Информационно-синергетическая концепция управления сложными системами. Монография. – Иваново, 2009. – 426 с.
2. **Бронз П.В., Вошинин А.П.** Интервальный подход к оценке экономических рисков проектов энергетики и его сравнение со сценарным анализом // Научная сессия МИФИ-2006: сб. науч. тр. «Экономика и управление». – М., 2006. – Т. 13. – С. 17–18.
3. **Кудряшов И.С., Целищев Е.С., Ильичева М.Д.** Новая технология автоматизированного проектирования сложных электротехнических систем // Автоматизация в промышленности. – 2016. – № 9. – С. 15–20.
4. **Мясоедов П.В., Тарлавский Д.В.** Применение информационных систем для повышения качества управления проектами в нефтегазовой отрасли // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 3. – С. 11–14.
5. **Системный** подход при управлении процессами проектирования объектов / И.В. Мещерин, В.П. Безкоровайный, Я.М. Избаш, В.Р. Исламова // Газовая промышленность. – 2003. – № 12. – С. 50–52.
6. **Новиков Д.А.** Управление проектами: организационные механизмы. – М.: ПМСОФТ, 2007. – 140 с.
7. **Носова Ю.С., Синченко Е.В.** Структурная декомпозиция работ (WBS) при планировании проекта // Научные труды КубГТУ. – 2015. – № 13. – С. 1–15.
8. **Управление** проектом. Основы проектного управления: учебник / М.Л. Разу, А.М. Лялин, Т.М. Бронникова и др.; под ред. проф. М.Л. Разу. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: КНОРУС, 2010. – 760 с.
9. **Ханин К.Н., Анцев В.Ю.** Управление несоответствиями в проектно-строительном процессе //

*Гвоздева Татьяна Вадимовна*,  
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат экономических наук, зав. кафедрой информационных технологий,  
телефон (4932) 26-98-55,  
e-mail: gvozdevs@inbox.ru

*Gvozdeva Tatyana Vadimovna*,  
Ivanovo State Power Engineering University,  
Candidate of Economics, Head of IT Department,  
tel. (4932) 26-98-55,  
e-mail: gvozdevs@inbox.ru

Изв. ТулГУ. Технические науки. – 2009. – Вып. 1. – Ч. 1. – С. 215–223.

#### References

1. Belov, A.A. *Informatsionno-sinergeticheskaya kontseptsiya upravleniya slozhnymi sistemami* [Information and synergetic concept of complex system management]. Ivanovo, 2009. 426 p.
2. Bronz, P.V., Voshchinin, A.P. Interval'nyy podkhod k otsenke ekonomicheskikh riskov projektov energetiki i ego sravnenie so stsennarym analizom [An interval approach to assessing economic risks of power projects and its comparison with scenario analysis]. *Nauchnaya sessiya MIFI-2006: sbornik nauchnykh trudov «Ekonomika i upravlenie»* [A scientific session MIFI-2006: a collection of scientific works «Economics and management»]. Moscow, 2006, vol. 13, pp. 17–18.
3. Kudryashov, I.S., Tselishchev, E.S., Ilyicheva, M.D. *Novaya tekhnologiya avtomatizirovannogo proektirovaniya slozhnykh elektrotekhnicheskikh sistem* [A new technology of automated design of complex electrical engineering systems]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2016, no. 9, pp. 15–20.
4. Myasoedov, P.V., Tarlavskiy, D.V. *Primenenie informatsionnykh sistem dlya povysheniya kachestva upravleniya projektami v neftegazovoy otrasli* [Application of information systems to improving the quality of project management in oil and gas industry]. *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse*, 2008, no. 3, pp. 11–14.
5. Meshcherin, I.V., Bezkorovainy, V.P., Izbash, Ya.M., Islamova, V.R. *Sistemnyy podkhod pri upravlenii protsessami proektirovaniya objektov* [System approach in object design process management]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2003, no. 12, pp. 50–52.
6. Novikov, D.A. *Upravlenie projektami: organizatsionnye mekhanizmy* [Project management: organization mechanisms]. Moscow, PMSOFT, 2007. 140 p.
7. Nosova, Yu.S., Sinchenko, E.V. *Strukturnaya dekompozitsiya rabot (WBS) pri planirovanii proekta* [Structural decomposition of works (WBS) in project planning]. *Nauchnye trudy KubGTU*, 2015, no. 13, pp. 1–15.
8. Razu, M.L., Lyalin, A.M., Bronnikova, T.M. *Upravlenie proektom. Osnovy proektnogo upravleniya* [Project management. Fundamentals of project management]. Moscow, KNORUS, 2010. 760 p.
9. Khanin, K.N., Antsev, V.Yu. *Upravlenie nesootvetstviyami v proektno-stroitel'nom protsesse* [Non-conformity management in design and construction]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 2009, issue 1, part 1, pp. 215–223.

*Целищев Евгений Сергеевич,*

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры информационных технологий,  
телефон (4932) 26-98-55,  
e-mail: etselishev@rambler.ru

*Tselishchev Evgeny Sergeevich,*

Ivanovo State Power Engineering University,  
Doctor of Engineering, Senior Researcher, Professor of IT Department,  
tel. (4932) 26-98-55,  
e-mail: etselishev@rambler.ru