УДК 004.94:621.311.22 DOI: 10.17213/0321-2653-2018-3-61-69

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СТАНДАРТЕ IDEF0 КАК ИНСТРУМЕНТ ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ И МОДЕРНИЗАЦИИ ТЭС

© 2018 г. Н.В. Федорова, Д.А. Шафорост, В.Н. Балтян, А.М. Коломийцева

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

FUNCTIONAL MODELING IN THE IDEF0 STANDARD AS A TOOL FOR DESCRIBING THE PROCESSES OF TPPs OPERATION AND UPGRADING

N.V. Fedorova, D.A. Shaforost, V.N. Baltyan, A.M. Kolomiytseva

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Федорова Наталья Васильевна – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Тепловые электрические станции и теплотехника», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия. E-mail: fedorovanv61@rambler.ru

Шафорост Дмитрий Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Тепловые электрические станции и теплотехника», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия.

Балтян Василий Николаевич – д-р. техн. наук, профессор, кафедра «Тепловые электрические станции и теплотехника», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия.

Коломийцева Александра Михайловна – ст. преподаватель, кафедра «Тепловые электрические станции и теплотехника», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия. E-mail: efimov@novoch.ru

Fedorova Natalia Vasilyevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, «Thermal Power Stations and Heat Transfer Engineering», Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia. E-mail: fedorovanv61@rambler.ru

Shaforost Dmitry Anatolyevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, «Thermal Power Stations and Heat Transfer Engineering», Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia.

Baltyan Vasiliy Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department «Thermal Power Stations and Heat Transfer Engineering», Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia.

Kolomiytseva Alexandra Mikhaylovna – Senior Lecturer, department «Thermal Power Stations and Heat Transfer Engineering», Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia. E-mail: efimov@novoch.ru

Проектирование и эксплуатация тепловых электрических станций (ТЭС) в РФ жестко нормируются множеством нормативно-технических документов. При этом ряд аспектов жизненного цикла ТЭС не охвачен этими документами. В конце XX в. разработаны и приняты в качестве национальных стандартов в ряде стран методология и семейство стандартов IDEF, охватывающих все этапы и аспекты проектирования. Методология IDEF имеет наглядный графический язык, что позволяет использовать ее как средство межпрофессиональной коммуникации. Рассмотрены возможности, особенности, преимущества и недостатки применения стандарта IDEF0 к описанию процессов работы и модернизации угольной ТЭС. Показана эффективность применения стандарта IDEF0 на начальном этапе проектирования. Сложившаяся система нормативно-технической документации РФ и стандарт IDEF0 не являются альтернативными, поскольку имеют различные сферы применения. Стандарты IDEF должны взаимно дополнять технические стандарты, что ускорит процесс проектирования и повысит эффективность эксплуатации ТЭС.

Ключевые слова: проектирование ТЭС; функциональное моделирование; методология и стандарт *IDEF*0.

The design and operation of thermal power plants (TPPs) in the Russian Federation are rigidly rationed by a number of normative and technical documents. At the same time, a number of aspects of the life cycle of TPPs are not covered by these documents. At the end of the twentieth century, IDEF methodology and a family of standards were developed and adopted as national standards in a number of countries, covering all stages and aspects of design. The IDEF methodology has an intuitive graphical language, which makes it possible to use it as a means of interprofessional communication. We consider the features, features, advantages and disadvantages of applying the IDEF0 standard to describing the work processes and upgrading of a coal-fired TPP In this paper. The efficiency of the IDEF0 standard application at the initial design stage is shown. The existing system of Russian Federation normative and technical documentation and the IDEF0 standard are not alternative, since they have different spheres of application. IDEF standards should complement each other with technical standards, which will speed up the design process and increase the efficiency of TPP operation.

Keywords: TPP design; functional modeling; methodology and standard *IDEF*0.

Проектирование и документирование технических объектов (изделий) в странах мира осуществляется в соответствии с национальной законодательно-нормативной базой. Конечные продукты конструкторского этапа разработки объекта любого уровня сложности – техническое задание, проект, сопроводительная документация – изложены на языке, понятном техническому специалисту в конкретной области. Эта документация позволяет в дальнейшем выполнить данное изделие, спрогнозировать режимы его работы и контролировать состояние в процессе эксплуатации. Но многие аспекты производства и функционирования (жизненного цикла) изделия не могут быть реализованы и описаны данными средствами, а именно: законодательные условия, регламентирующие производство и эксплуатацию объекта; организационные взаимосвязи данного объекта; влияние объекта на экологию; его взаимосвязь с социальной сферой; риски различной природы и т.д. С позиции нормативно-технической документации технический объект рассматривается изолированно и только с технической точки зрения. Но для обеспечения успешного функционирования он должен рассматриваться как сложная система во взаимодействии с внешней средой. Для учета всех аспектов жизненного цикла предприятия техническим специалистам придется контактировать с юристами, экономистами, экологами, социологами, системными аналитиками, инвесторами, которые говорят на других профессиональных языках, что приводит к необходимости разработки средств межпрофессиональной коммуникации.

В конце XX в. начали разрабатываться новые подходы к описанию структуры и функций сложных систем, учитывающие как потребности социальной коммуникации при разработке проектов, так и возможности, предоставляемые моделированием и использованием компьютерных программных средств. Одним из таких подходов стала разработка методологии и семейства стандартов *IDEF*. В работе рассмотрены возможности, особенности, преимущества и недостатки применения стандарта *IDEF*0 к описанию процессов работы и модернизации угольной ТЭС.

Проектирование ТЭС в России осуществляется в соответствии с нормативными документами [1 – 4]. Порядок расчета тепловых схем и экономических показателей работы ТЭС отражен в учебных и методических изданиях [5 – 8]. Разработан ряд программных продуктов для решения инженерных задач. В систему автоматизированного проектирования (САПР) входят такие направления, как *CAD* (*Computer-Aided Design*), *CAE* (*Computer-Aided Engineering*), *CAM* (*Computer-Aided Manufacturing*), *PDM* (*Product Data Management*). Одной из наиболее распространенных *CAE*-систем является *ANSYS* [9]. Наряду с многопрофильными программными пакетами, применяются и специализированные продукты [10 – 12].

В рамках методологии семейства *ICAM* (*Integrated Computer-Aided Manufacturing*) для решения задач моделирования сложных систем в 80-х гг. XX в. в США началась разработка методологии и семейства стандартов *IDEF* (*Integrated DEFinition*), включающих 15 стандартов, охватывающих все этапы и аспекты проектирования. Методология *IDEF* предоставляет возможность моделирования сложных систем различного назначения, не перегружая создаваемую модель излишними для конкретных целей данными. Контекстная диаграмма (рис. 1), состоящая из одного блока, является вершиной древовидной структуры диаграмм и представляет собой самое общее описание системы и ее взаимодействия с внешней средой. При возникновении необходимости блоки *IDEF*-диаграмм могут быть подвергнуты декомпозиции для уточнения их структуры и внутренних связей.



Рис. 1. Функциональная схема ТЭС в формате контекстной *AS-IS* диаграммы *IDEF*0 / Fig. 1. Functional scheme of TPP in contextual format of the AS-IS IDEF0 diagram

Первым в семействе *IDEF* является *IDEF*0 – методология и семейство стандартов **функционального моделирования** [13], разработанные на основе графического языка описания функциональных систем *SADT* (*Structured Analysis and Design Technique*). Методология *IDEF*0 также имеет наглядный графический язык, основанный на понятиях функциональных блоков и взаимосвязей между ними. Особенностью функционального блока является наличие трех входов и одного выхода (рис. 2), которые отображаются фиксированным образом: слева – входной поток, материальный, информационный или иной, подвергаемый обработке и преобразованию в данном функциональном блоке; сверху – управляющие воздействия, влияющие на алгоритм преобразования функционального блока; снизу – механизм, средства, позволяющие осуществлять функциональные задачи блока; справа – результат преобразования, выходной поток. Каждый блок имеет уникальный идентификационный номер, однозначно определяющий его положение в пакете *IDEF*-диаграмм. Изучаемая система рассматривается как совокупность взаимосвязанных функциональных блоков. Согласно методологии *IDEF*0, возможна разработка двух семейств моделей: *AS-IS* – «как есть» и *TO-BE* – «как будет», что позволяет отражать процесс модернизации объекта (реинжиниринг). Разработан лицензионный пакет прикладных программ для построения *IDEF*-диаграмм *AllFusion Process Modeler* (ранее *BPwin*) и его общедоступный аналог *Ramus Educational* [14], программные продукты 3*SL Cradle*, *System Architect*, *WorkFlow Modeler* и другие.

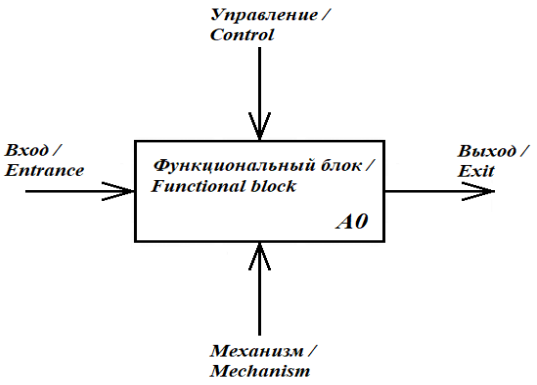


Рис. 2. Функциональный блок и его связи / Fig. 2. Functional block and its connections

Современное функциональное моделирование определяется стандартом Национального института стандартов и технологий США (*The National Institute of Standards and Technology*) *IDEF*0 [13], в рамках которого описывается непосредственно методология функционального моделирования и графическая нотация для представления формируемых моделей. В ряде стран эта технология взята за основу при разработке национальных стандартов. Так в Великобритании в 1993 году аналогичная методология *SSADM* (*Structured Systems Analysis and Design Method*) была принята в качестве национального стандарта для разработки информационных систем [15]. В конце XX в. была представлена русская версия стандарта *IDEF*0 [16], позднее разработаны и

Госстандартом России приняты и введены в действие стандарты функционального моделирования [17, 18], рекомендованные к использованию в госструктурах в целях поддержки, в частности, процедуры сертификации производственной деятельности на соответствие международным стандартам *ISO* 9000 (9001) по созданию систем управления качеством. В последние годы необходимость согласования российских стандартов с зарубежными как в части требований к изделиям, так и при оформлении документации, актуальна для организаций, имеющих зарубежных партнеров. Таким образом, **применение стандарта *IDEF*0 является нормативно-обоснованным этапом проектирования в РФ.**

Моделирование процессов производственной деятельности служит первым этапом проектирования объекта. На этом этапе определяются цель и задачи проектирования; функции объекта; условия и средства обеспечения, критерии оценки эффективности функционирования объекта; входные и выходные материальные, информационные и иные потоки, как основные, так и побочные; проблемы, с которыми придется столкнуться на протяжении жизненного цикла объекта, в том числе – проблемы, причиной которых является сам объект. Рассмотрим в данном контексте работу современной угольной ТЭС и возможные направления ее модернизации.

Применение стандарта *IDEF*0 к проектированию ТЭС является новой областью применения данного стандарта, на сегодняшний день не имеющей аналогов в мировой практике. Ранее стандарт *IDEF*0 применялся только в авиационно-космической промышленности, в сфере информационных технологий и в системах управления качеством продукции.

Целью работы ТЭС традиционно (*AS-IS*) служит производство электрической (и тепловой) энергии, что определяет единственную **функцию** ТЭС – энергетическую. **Проблемы работы угольной ТЭС** на современном этапе: накопление золошлаковых материалов (ЗШМ) в отвалах, необходимость сжигания угля ухудшенного качества, эксплуатация морально и физически устаревшего оборудования. В качестве **критериев эффективности** функционирования системы на сегодняшний день превалируют два показателя: финансовый (минимизация себестоимости энергии) и технико-технологический (максимизация КПД). Но в современных условиях необходимо учитывать и другие критерии: экологический, юридический, социальный, критерии риска и прочие факторы.

Функциональная схема ТЭС как анализируемой системы в формате контекстной диаграммы *IDEF0 AS-IS* представлена на рис. 1, ее декомпозиция – на рис. 3.

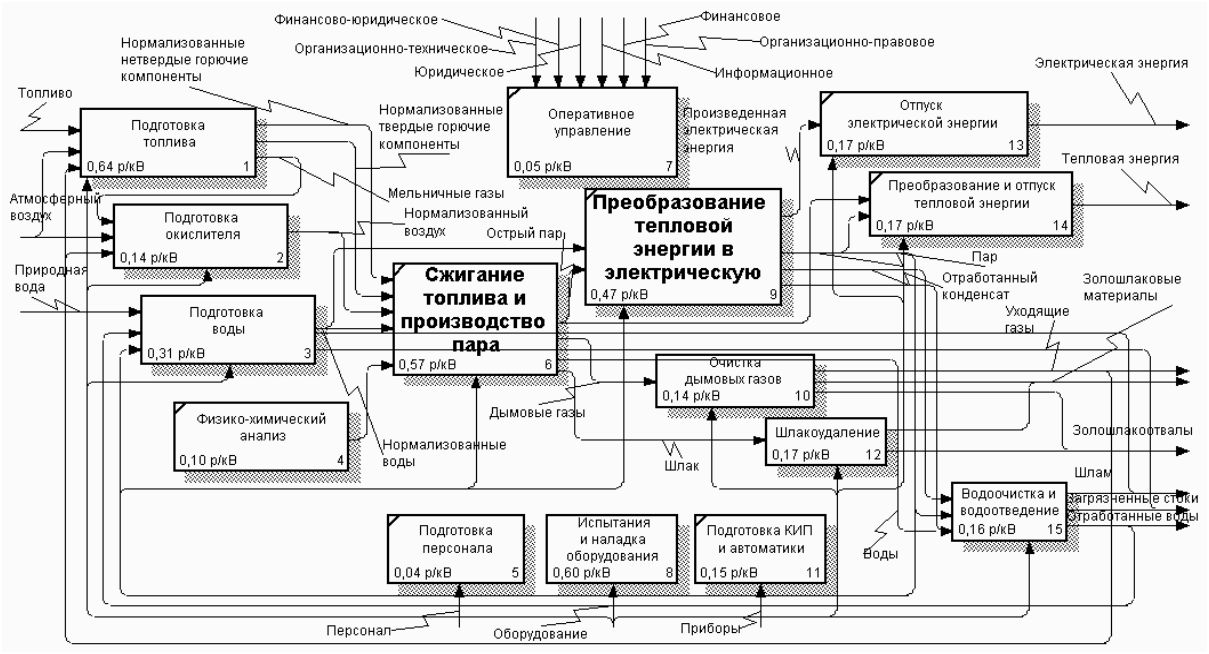


Рис. 3. Декомпозиция контекстной *AS-IS* диаграммы *IDEF*0 функциональной схемы ТЭС / Fig. 3. Decomposition of contextual AS-IS diagram IDEF0 functional scheme of TPP

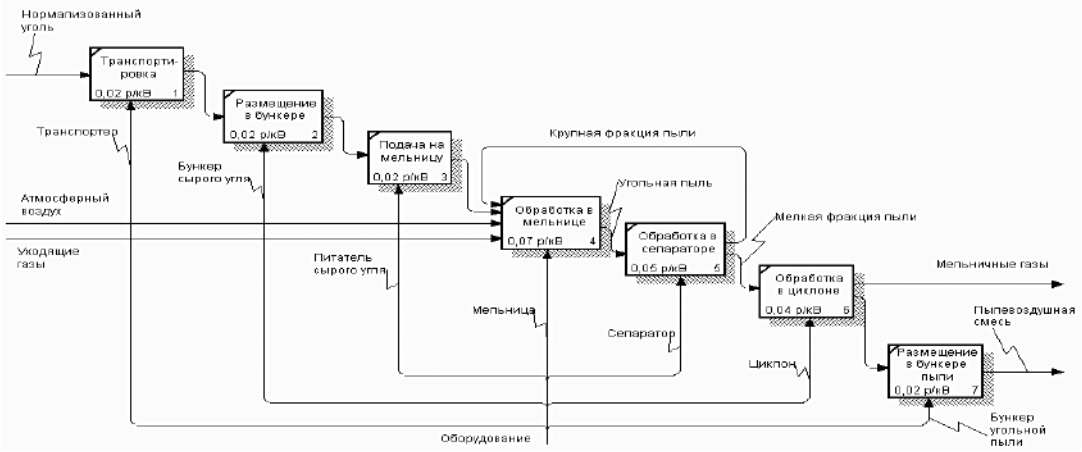


Рис. 4. Декомпозиция блока «Приготовление и хранение пылевоздушной смеси» как элемента блока «Подготовка топлива» *AS-IS* / Fig. 4. Decomposition of the block «Preparation and storage of dust-air mixture» as an element of the block «Fuel preparation» *AS-IS*

Анализ рис. 1, 3 показывает, что в функциональной схеме ТЭС отсутствуют подсистемы, ориентированные на переработку и утилизацию ЗШМ, что приводит к их накоплению; отсутствует обратная связь, направленная на генерацию запросов во внешнюю среду о необходимости изменения юридических, финансовых, материальных, экологических условий функционирования ТЭС, что приводит к накоплению организационных проблем; имеется потенциальная возможность внедрения новейших технических и технологических достижений с помощью финансового и информационного воздействий. Стандарт *IDEF*0 рекомендует отображать на одной декомпозиционной диаграмме 2 – 9 функциональных блоков, не ограничивая количество уровней декомпозиции. В диаграмме на рис. 3 представлено 15 блоков, некоторые связи не показаны. В частности, выходной поток блока «Оперативное управление» поступает на управляющий вход всех остальных блоков.

Данные блоки отражают все внутренние функции и структуру ТЭС, их представление на одной диаграмме позволило приблизить ее к требованиям ГОСТ РФ [1 – 3]. На рис. 4 приведен пример диаграммы более глубокого уровня декомпозиции. Диаграмма (рис. 4) отражает фрагмент технологической схемы ГОСТ, относящийся к пылеприготовлению, на ней более подробно поименовано специальное используемое оборудование.

Стандарт *IDEF*0 предусматривает возможность финансовой оценки функциональных блоков с разбивкой по статьям расхода (рис. 5). Стоимости, заданные на нижних уровнях декомпозиции, суммируются постепенно, слагая в итоге стоимость производства энергии на ТЭС. Стоимость определена для тестового примера и может отличаться от показателей конкретной ТЭС.

Для повышения эффективности работы ТЭС и с учетом имеющихся проблем предлагаются ***направления модернизации***: внедрение обогащения угля на этапе «Подготовка топлива» [19 – 21], внедрение утилизации ЗШМ на этапах «Очистка дымовых газов» и «Шлакоудаление» [22 – 24]. В результате должно произойти преобразование ТЭС в энерготехнологический комплекс (ЭТК). ***Целью работы ЭТК*** (*TO-BE*) должно стать производство электрической (и тепловой) энергии и утилизация побочных продуктов энергетического производства.

```
Activity Number: 0
Activity Name: Работа тепловой электрической станции
Activity Cost    (руб/кВТч): 3,88
Cost Center: Документация
Cost Center Cost (руб/кВТч): 0,67

Cost Center: Оборудование
Cost Center Cost (руб/кВТч): 2,11

Cost Center: Персонал
Cost Center Cost (руб/кВТч): 1,10

Activity Number:   1
Activity Name: Подготовка топлива
Activity Cost    (руб/кВТч): 0,64
Cost Center: Документация
Cost Center Cost (руб/кВТч): 0,03

Cost Center: Оборудование
Cost Center Cost (руб/кВТч): 0,35

Cost Center: Персонал
Cost Center Cost (руб/кВТч): 0,26

Activity Number:     1.1
Activity Name: Осушка газа / мазута
Activity Cost    (руб/кВТч): 0,02
Cost Center: Оборудование
Cost Center Cost (руб/кВТч): 0,01

Cost Center: Персонал
Cost Center Cost (руб/кВТч): 0,01
```

Рис. 5. Фрагмент расчета стоимости функциональных блоков ТЭС *AS-IS* / Fig. 5. Fragment of calculating the cost of the TPP functional blocks *AS-IS*

На рис. 6, 7 представлены контекстная диаграмма *TO-BE* функциональной схемы ЭТК и декомпозиция этой диаграммы. Внутренние потоки, оставшиеся неизменными, не показаны, выделены новые блоки и потоки. Для ЭТК добавляется новая ***функция*** – производство товарных продуктов на основе отходов энергетического производства. Образуются новые выходные материальные потоки – товарные продукты и вторичные отходы. Для утилизации товарных продуктов необходима логистика. Формируется запрос на поддержку процесса модернизации. Добавлено новое управляющее воздействие – обучающее, поскольку функционирование ЭТК повышает требования к квалификации персонала. На рис. 8 представлен результат расчета стоимости работы ЭТК (руб/кВтч). В тестовом примере наиболее высомыми оказались расходы на оборудование (установку и амортизацию) с учетом модернизации ТЭС. Однако все расходы отнесены к производству энергии и не учитывают прибыльности реализации энергетических и товарных продуктов. Требуется разработка новых методик для адекватного отнесения расходов материальных и финансовых ресурсов на нужды энергетического и товарного производств.



Рис. 6. Контекстная диаграмма *TO-BE*-процесса работы ЭТК
/ Fig. 6. Context diagram of *TO-BE*-process of the work of energy-technological complex

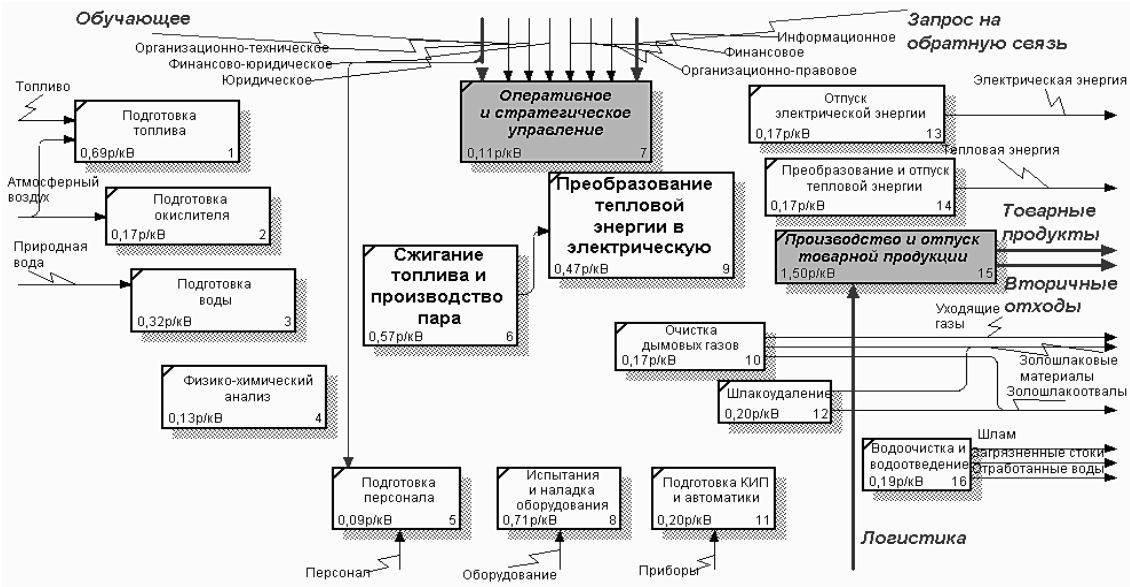


Рис. 7. Декомпозиция контекстной диаграммы *TO-BE*-процесса работы ЭТК / Fig. 7. Decomposition of the context diagram of *TO-BE*-process of the work of energy-technological complex

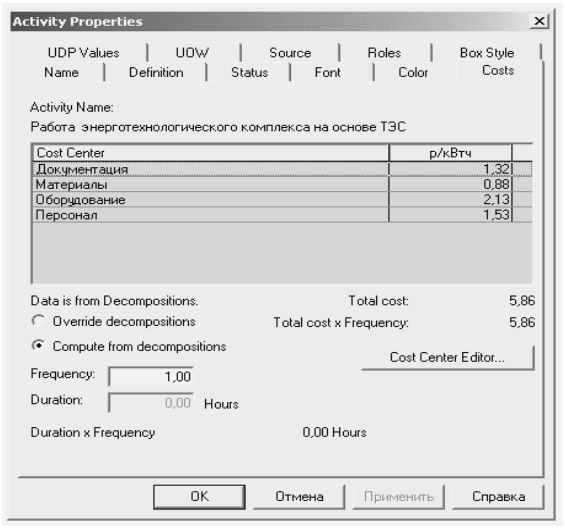


Рис. 8. Результаты оценки стоимости работы ЭТК ТО-ВЕ / Fig. 8. Results of the evaluation of cost of the work of energy-technological complex TO-BE

Проведем сравнительный анализ характеристик традиционных нормативов ГОСТ РФ с одной стороны и стандарта *IDEF*0 – с другой:

– ***возможности*** ГОСТ РФ – детальный технический проект; спецификация, чертежи, условные графические обозначения (УГО) стандартизованы; (технико-) экономический расчет (отдельно); ленточный и сетевой графики работ (отдельно); *IDEF*0 – единый проект, включающий техническую, финансовую, юридическую, организационную информацию; малое количество УГО – блоки (разных видов) и стрелки (различные), с наименованиями; возможность не отображать несущественные элементы; неограниченная глубина декомпозиции; построение дерева узлов – иерархической структуры функциональных блоков; возможности отображения последовательности, длительности и стоимости блоков, различных точек зрения на проект, данных об экспертах, подготовки демонстрационного варианта проекта;

– ***особенности*** ГОСТ РФ – жесткие предписания по оформлению чертежей и текстовой документации; *IDEF*0 – рекомендации по оформлению;

– ***преимущества*** ГОСТ РФ – изображение технических объектов с полнотой, позволяющей реализовать их материально (построить, выточить и т.п.); унификация и стандартизация УГО, устанавливающая взаимно однозначное соответствие между элементами схем и оборудованием (с точностью до модельного ряда); основы ГОСТ преподают в учебных заведениях в рамках соответствующих дисциплин; *IDEF*0 – согласован с международными стандартами; упрощенные УГО; наглядность и понятность для специалистов различного профиля деятельности;

– ***недостатки*** ГОСТ РФ – понятны только техническим специалистам по профилю проекта; содержат избыточную техническую информацию для первичного этапа проектирования; не содержат нетехническую информацию, необходимую на первичном этапе проектирования и при модернизации объекта; *IDEF*0 – неприменимы для технической реализации проекта (построения, изготовления объекта); недостаточная информированность специалистов различного профиля о возможностях стандарта;

– ***сфера применения в процессе проектирования*** ГОСТ РФ – на этапе реализации, внедрения проекта; при разработке технических решений; при расчете критериев и показателей технической и экономической эффективности; при выборе оборудования; при разработке технической документации для реализации объекта; *IDEF*0 – на этапе разработки и согласования проекта; при постановке цели и задач проектирования; при формировании (выборе) критериев оценки эффективности, технологической и организационной структуры объекта; при согласовании проекта со специалистами нетехнических направлений (юристами, экологами, экономистами и пр.); при разработке документации;

– ***сфера применения*** на предприятии ГОСТ РФ – главный инженер и подконтрольные ему организационные структуры; *IDEF*0 – директор предприятия; юридическая, финансовая, кадровая службы и др.

Выводы

Функциональное моделирование в стандарте *IDEF*0 позволяет описать работу и процесс модернизации ТЭС в ЭТК с полнотой и наглядностью, достаточными как для адекватного отражения структуры и функций этих объектов, так и для понимания цели и задач проектирования специалистами различного профиля, что необходимо для принятия обоснованных и согласованных управленческих решений. Сложившаяся система нормативно-технической документации РФ и стандарт *IDEF*0 не противоречат друг другу и не являются альтернативными, поскольку имеют различные сферы применения в процессе проек-

тирования и эксплуатации ТЭС. В частности, применение стандарта *IDEF*0 целесообразно на начальном этапе проектирования. Стандарт *IDEF*0, а в последующем и другие стандарты семейства *IDEF*, не имеющие на данное время интерпретации в ГОСТ РФ, должны взаимно дополнять технические стандарты и нормативы. Это ускорит процесс проектирования и повысит эффективность эксплуатации ТЭС.

Литература

1. СП 90.13330.2012 Электростанции тепловые. Актуализированная редакция СНиП II-58-75 (с Изменением № 1). Дата введения 2013-01-01.
2. ГОСТ 2.001-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие положения (с Поправкой). Дата введения 2014-06-01.
3. ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению (с Поправкой). Дата введения 2009-07-01.
4. ГОСТ 21.403-80 Система проектной документации для строительства (СПДС). Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое. Дата введения 1981-07-01.
5. *Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г.* Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов // М.: Изд-во МЭИ, 2000. 408 с.
6. Свод правил по проектированию тепловых электрических станций [Электронный ресурс]. Москва, РАО «ЕЭС России», 2007. 175 с. URL: http://nnhpe.spbstu.ru/wp-content/uploads/2015/02/Svod_pravil_po_proektirovaniy u_ TES.pdf (дата обращения 08.05.2018).
7. Типовой алгоритм расчета технико-экономических показателей мощных отопительных ТЭЦ. Часть 1. Организационно-технологическая сущность расчетов. Ленинград, 1981.
8. РД 153-34.1-09.321-2002. Методика экспресс-оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС. Дата введения 2003-03-01.
9. ANSYS [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ansys.com/ (дата обращения 08.05.2018).
10. Energo Soft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.energosoft.info/Sitemap.html (дата обращения 08.05.2018).
11. NIST, FIPS. Publication 183: Integration Definition of Function Modeling (IDEF0) // National Institute of Standards and Technology. 1993. Т. 128 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.idef.com (дата обращения 08.05.2018).
12. Ramus – кроссплатформенная система моделирования и анализа бизнес-процессов [Электронный ресурс] / Официальный русскоязычный сайт проекта Ramus! Режим доступа: http://ramussoftware.com/ (дата обращения 08.05.2018).
13. *Похилько А.Ф., Горбачев И.В., Рябов С.В*. Моделирование процессов и данных с использованием CASE-технологий: учеб. пособие [Электронный ресурс] // Ульяновск: УлГТУ, 2014. 163 с. URL: http://venec.ulstu.ru/ lib/disk/2014/179.pdf (дата обращения 08.05.2018).
14. Методология IDEF0. Стандарт. Русская версия [Электронный ресурс]. МетаТехнология, 1993. 91 с. URL: http://media.devnet.ru/files/Lectures/ALESHIN/SADT/IDEF0/% D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%20IDEF0.pdf (дата обращения 08.05.2018).
15. Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Дата введения 2002-07-01.
16. Р 50.1.031-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции. Дата введения 2002-07-01.
17. *Бундикова В.Р., Федорова Н.В., Верховинский И.Л.* Модернизация системы топливоподготовки на ТЭС // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2014. № 4 (179). С. 109 – 110.
18. *Федорова Н.В., Кривобок Е.А.* Подготовка высокозольных углей к сжиганию на ТЭС // Экология промышленного производства. 2015. № 1 (89). С. 41 – 46.
19. *Fedorova N.V., Mokhov V.A., Krivobok E.A.* Functional Simulation of the Method for the Coal Preparation for Combustion in the Thermal Power Plant [Electronic resource] // Biosciences Biotechnology Research Asia. – 2015. – № 12 (3) – Access mode: http://www.biotech-asia.org/vol12no3/ functional-simulation-of-the-method-for-the-coal-preparation -for-combustion-in-the-thermal-power-plant/ (accessed 08.05.2018).
20. *Федорова Н.В., Шафорост Д.А.* Перспективы использования золы-уноса тепловых электростанций Ростовской области // Теплоэнергетика. 2015. № 1. С. 53 – 58.
21. *Федорова Н.В., Шафорост Д.А., Кривобок Е.А.* О возможности использования золошлаковых отходов угольных электростанций Ростовской области в качестве углеродсодержащих сорбентов // Экология промышленного производства. 2016. № 1 (93). С. 20 – 24.
22. *Федорова Н.В. Ефимов Н.Н., Федоров Ю.В.* Выбор способа утилизации золошлаковых материалов Новочеркасской ГРЭС с применением метода анализа иерархий Т. Саати // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 1. С. 54 – 61.

References

1. SP 90.13330.2012 *Elektrostantsii teplovye. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-58-75* [Code of Regulations 90.13330.2012 Thermal power plants. Updated version of Building Regulations II-58-75].
2. GOST 2.001-2013 *Edinaya sistema konstruktorskoi dokumentatsii (ESKD). Obshchie polozheniya* [State standard 2.001-2013 Unified system of design documentation (USDD). General provisions].
3. GOST 2.701-2008 *Edinaya sistema konstruktorskoi dokumentatsii (ESKD). Skhemy. Vidy i tipy. Obshchie trebovaniya k vypolneniyu* [State standard 2.701-2008 Unified system of design documentation (USDD). Scheme. Kinds and types. General requirements for implementation].

4. GOST 21.403-80 *Sistema proektnoi dokumentatsii dlya stroitel'stva (SPDS). Oboznacheniya uslovnye graficheskie v skhemakh. Oborudovanie energeticheskoe* [State standard 21.403-80 System of design documentation for construction (SDDC). Conditional graphic designations in schemes. Power equipment].
5. Sterman L.S., Lavygin V.M., Tishin S.G. *Teplovye i atomnye elektricheskie stantsii. Uchebnik dlya vuzov* [Thermal and nuclear power plants. Textbook for high schools]. Moscow: Publ. MEI, 2000, 408 p.
6. *Svod pravil po proektirovaniyu teplovykh elektricheskikh stantsii* [Code of rules for the design of thermal power plants]. Moscow: RAO «EES Rossii», 2007, 175 p. Aviable at: http://nnhpe.spbstu.ru/wp-content/uploads/2015/02/Svod_pravil_po_proektirovaniyu_TES.pdf. (accessed 08.05.2018).
7. *Tipovoi algoritm rascheta tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei moshchnykh otopitel'nykh TETs. Chast' 1. Organizatsionno-tekhnologicheskaya sushchnost' raschetov* [Typical algorithm for calculating the technical and economic indicators of high-power heating and power plants. Part 1. Organizational and technological essence of calculations]. Leningrad, 1981.
8. RD 153-34.1-09.321-2002. *Metodika ekspress-otsenki ekonomicheskoi effektivnosti energosberegayushchikh meropriyatii na TES* [Working paper 153-34.1-09.321-2002. The method of rapid assessment of the economic efficiency of energy-saving measures at TPPs].
9. *ANSYS*. Aviable at: https://www.ansys.com/ (accessed 08.05.2018).
10. *Energo Soft*. Aviable at: http://www.energosoft.info/Sitemap.html (accessed 08.05.2018).
11. NIST, FIPS. Publication 183: Integration Definition of Function Modeling (IDEF0). *National Institute of Standards and Technology*, 1993, Vol. 128. Aviable at: http://www.idef.com (accessed 08.05.2018).
12. *Ramus*. Aviable at: http://ramussoftware.com/ (accessed 08.05.2018).
13. Pokhil'ko A.F., Gorbachev I.V., Ryabov S.V. *Modelirovanie protsessov i dannykh s ispol'zovaniem CASE-tekhnologii: uchebnoe posobie* [The processes and data modeling with the CASE-technologies using: a tutorial]. Ul'yanovsk: UlGTU, 2014, 163 p. Aviable at: http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2014/179.pdf (accessed 08.05.2018).
14. Metodologiya IDEF0. Standart. Russkaya versiya [The methodology of IDEF0. Standard. Russian version]. MetaTekhnologiya, 1993, 91 p. Aviable at: http://media.devnet.ru/files/Lectures/ALESHIN/SADT/ IDEF0/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%20IDEF0.pdf (accessed 08.05.2018).
15. R 50.1.028-2001 *Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Metodologiya funktsional'nogo modelirovaniya* [R 50.1.028-2001 Information technologies for supporting the life cycle of products. Methodology of functional modeling].
16. R 50.1.031-2001 *Informatsionnye tekhnologii podderzhki zhiznennogo tsikla produktsii. Terminologicheskii slovar'. Chast' 1. Stadii zhiznennogo tsikla produktsii* [R 50.1.031-2001 Information technologies for supporting the life cycle of products. Terminological dictionary. Part 1. Stages of the life cycle of products].
17. Bundikova V.R., Fedorova N.V., Verkhovinskii I.L. Modernizatsiya sistemy toplivopodgotovki na TES [Modernization of the fuel preparation system at TPP]. *Izvestiya vyzov. Sev.-Kavk. region. Tekhn. nauki,* 2014, no. 4 (179), pp.109-110. (In Russ.)
18. Fedorova N.V., Krivobok E.A. Podgotovka vysokozol'nykh uglei k szhiganiyu na TES [Preparation of high-ash coals for burning at thermal power plants]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2015, no. 1 (89), pp. 41-46. (In Russ.)
19. Fedorova N.V., Mokhov V.A., Krivobok E.A. Functional Simulation of the Method for the Coal Preparation for Combustion in the Thermal Power Plant, 2015, no. 12 (3). Aviable at: http://www.biotech-asia.org/vol12no3/functional-simulation-of-the-method-for-the-coal-preparation-for-combustion-in-the-thermal-power-plant/ (accessed 08.05.2018).
20. Fedorova N.V., Shaforost D.A. Perspektivy ispol'zovaniya zoly-unosa teplovykh elektrostantsii Rostovskoi oblasti [Prospects for using the fly ash produced at thermal power plants in the Rostov region]. *Teploenergetika,* 2015, no. 1, pp. 53-58. (In Russ.)
21. Fedorova N.V., Shaforost D.A., Krivobok E.A. O vozmozhnosti ispol'zovaniya zoloshlakovykh otkhodov ugol'nykh elektrostantsii Rostovskoi oblasti v kachestve uglerodsoderzhashchikh sorbentov [On the possibility of using ash-and-slag wastes of coal power plants in the Rostov Region as carbon-containing sorbents]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2016, no. 1 (93), pp. 20-24. (In Russ.)
22. Fedorova N.V., Efimov N.N., Fedorov Yu.V. Vybor sposoba utilizatsii zoloshlakovykh materialov Novocherkasskoi GRES s primeneniem metoda analiza ierarkhii T. Saati [Choosing the way to recycle ash and slag materials of Novocherkassk power plant (Novocherkassk GRES) using analytic hierarchy process of T. Saaty]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki*, 2018, Vol. 11, no. 1, pp. 54-61. (In Russ.)

Поступила в редакцию / Received 25 июня 2018 г. / June 25, 2018