

УДК 519.6:004.588

В.А. ПОПОВ, В.С. КОСТЮК, Н.В. ЕРЕМЕНКО*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Приведено обоснование состава интегрированной информационной системы атомной электростанции на основе формализованного представления процессов производства и управления предприятия. Формализация процессов реализована с помощью теории множеств и отношений. Предложена системная модель предприятия, а также подход, позволяющий переходить от теоретико-множественного макроописания объекта к определению состава средств информационной поддержки системы управления. Сравнение и выбор средств обеспечения осуществляется в процессе поиска решения нестандартной задачи о назначениях. Показано применение подхода и описание предлагаемой интегрированной информационной системы атомной электростанции.

Ключевые слова: атомная электростанция, интегрированная информационная система объекта, теоретико-множественное представление, средства обеспечения информационной поддержки, задача о назначениях.

Введение

Среди энергогенерирующих комплексов Украины заметную роль занимают атомные электростанции, на долю которых приходится около половины всей электроэнергии, производимой в стране [1]. Основной целью атомной энергетики является увеличение производства электроэнергии и повышение уровня безопасности эксплуатации АЭС. На реализацию данной цели направлена актуальная задача развития и модернизации средств информационной поддержки системы управления производством в энергетической отрасли [2].

К недостаткам автоматизированных систем управления, функционирующих на АЭС Украины, относят недостаточное использование опыта, накопленного зарубежными станциями [3], и существующих на сегодня информационных средств поддержки как для отдельных задач, так и для целых процессов. Потому столь актуальной является проблема развития и интеграции указанных систем.

Разработка интегрированной информационной системы (ИИС) начинается с создания модели процессов, протекающих на предприятии [3]. Предлагаемая системная модель АЭС основана на теоретико-множественном представлении [4], которое позволяет оперировать с макроописанием объекта. Изначально объект рассматривается как некое множество, включающее в себя ряд подмножеств, для которых континуумом выступает внешняя среда. Между элементами множеств определяются отношения, соответствующие природе объектов. Основ-

ные отношения можно представлять диаграммами Эйлера-Венна, а также в виде отношений на декартовом произведении множеств или отображений.

Наличие двух множеств, одно из которых включает функциональное наполнение системы управления, а второе – программные и аппаратные средства обеспечения их информационной поддержки, позволяет реализовать концепцию функционально-стоимостного анализа, в которой отражается взаимосвязь функций и требуемых для их реализации ресурсов [5, 6].

Предлагаемый подход позволяет представить системную модель процессов управления на предприятии в форме, подобной той, которая применяется для задачи о назначениях [7]. Результатом поиска решения нестандартной задачи о назначениях является состав интегрированной информационной системы АЭС, сформированный из средств обеспечения поддержки функций системы управления, соответствующих предъявляемым к ним требованиям.

Постановка задачи

Задача данного исследования состоит в определении состава ИИС АЭС, внедрение которой будет способствовать повышению количества вырабатываемой электроэнергии и уровня безопасности эксплуатации. Для решения данной задачи предложен подход к определению и обоснованию структуры информационной системы, суть которого состоит в следующем:

1. Создание системной модели процессов производства и управления АЭС.

где $Z(\bar{P}_1)$ – материальные затраты на проведение мероприятий из набора \bar{P}_1 , $p_1(\bar{S}_1)$ – вероятность реализации аварийной ситуации, которая зависит от факторов внешней среды из перечня \bar{S}_1 .

Повышение уровня безопасности сопряжено с работами, направленными на совершенствование системы управления, и сопутствующими материальными затратами Z'' :

$$Z'' = \sum_j Z(\bar{P}_{2j}),$$

где $Z(\bar{P}_{2j})$ – затраты на мероприятия \bar{P}_{2j} по развитию и модернизации средств обеспечения информационной поддержки системы управления. Отметим, что $Z'' < Z'$, потому как Z' включает расходы на восстановление разрушений, стоимость основных фондов и т.д. [9]. Затраты Z'' составляют расходы на обновление, модернизацию или приобретение новых программно-аппаратных средств информационной поддержки системы управления, их установку на соответствующих объектах АЭС, настройку, обучение персонала и т.д.

Следующим этапом декомпозиции является определение элементов Π . АЭС включает в себя ряд объектов, которые можно разделить по функциональному назначению и представить предприятие в виде множества, включающего в себя подмножества:

$$\Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5),$$

где Π_1 – главный корпус (энергоблок) и $\Pi_{1i} \subset \Pi_1$, Π_2 – административно-вспомогательный корпус, Π_3 – пруд-охладитель или градирня, Π_4 – электро-распределительные устройства, Π_5 – вспомогательные цеха. Заметим, что $\Pi_i \cap \Pi_j = \emptyset | i, j = \overline{1, 5}$.

К примеру, на Запорожской АЭС [1] расположено 6 энергоблоков, потому справедлива запись $\Pi_{11}, \dots, \Pi_{16} \subset \Pi_1$. Каждый энергоблок Π_{1i} включает элементы, предназначенные для реализации процесса производства электроэнергии, следовательно, является подмножеством Π_1 , а не элементом [4].

2. Системная модель процессов производства и управления АЭС основана на теоретико-множественном представлении, где в управляемой системе выделяется множество функций $\PhiЧ$ $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ и соответствующих средств обеспечения производства $D = (D_1, D_2, \dots, D_m)$.

Данный подход основан на концепции функционально-стоимостного анализа [5], применяемого для оценки влияния основных и косвенных затрат на стоимость производимой продукции или услуг, где потребителями ресурсов (материальных, информа-

ционных, трудовых) являются функции и операции, выполняемые для производства продукта.

Выделим основные производственные функции АЭС $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$, опираясь на приведенное выше описание процесса производства электроэнергии: C_1 : подогрев воды (теплоносителя) до 320 градусов; C_2 : разделение нагретого теплоносителя на пар и воду; C_3 : приведение в движение ротора генератора; C_4 : охлаждение пара; C_5 : генерация электроэнергии; C_6 : очищение и хранение воды; C_7 : подача электроэнергии потребителю.

Множество обеспечивающих ресурсов (ОЧ) $D = (D_1, D_2, \dots, D_m)$ производственного процесса, соответствующее элементам на рис. 1, следующее: D_1 – реактор; D_2 – парогенератор; D_3 – турбина; D_4 – конденсатор; D_5 – дизель-генератор; D_6 – пруд-охладитель или градирня; D_7 – электрораспределительные устройства.

Заметим, что в данном случае $D_i \subset \Pi_1 | i = \overline{1, 4}$.

Отношение между ФЧ и ОЧ управляемой системы, отражающее использование элементами ФЧ элементов ОЧ в стационарном режиме работы:

$$C_i \rightarrow D_i | i = \overline{1, 7},$$

где знак \rightarrow означает отображение множества C в D .

3. Система управления предприятия, также как и УС, состоит из двух множеств $A = (A', A'')$ – функциональная часть, $B = (B', B'')$ – обеспечивающая часть, где A' – функции персонала, A'' – функции информационной системы, B' – персонал, B'' – программные, аппаратные и технические средства обеспечения информационной поддержки системы управления.

Результаты системного анализа используются для обоснования и выбора средств обеспечения информационной поддержки СУ, так как для всех производственных объектов, представленных в системной модели, можно определить общие функции управления, в том числе требующие автоматизации.

В системе управления АЭС выделяют три основных направления [3]: A_1 – управление технологическими процессами, A_2 – экономическое управление, A_3 – управление эксплуатацией и состоянием основных фондов. Каждая из указанных функций $A_i | i = \overline{1, 3}$ включает в себя подмножества задач, которые в рамках статьи опущены, но могут быть найдены, к примеру, в [8, 10].

Согласно поставленной задаче необходимо определить состав ИИС АЭС, который формируют элементы множества B'' , включающего в себя сред-

ства обеспечения, присутствующие на предприятии, а также программные комплексы, доступные на рынке информационных систем.

Данная задача соответствует задаче о назначении [7], а именно о наилучшем распределении некоторого числа работ между таким же числом исполнителей при условии взаимнооднозначного соответствия между работами и исполнителями. Подобная постановка задачи соответствует однозначному симметричному отображению. При ее решении ищут оптимальное назначение из условия максимума общей производительности, которая равна сумме производительности исполнителей. В случае, когда число исполнителей не равно количеству работ, отображение не будет взаимнооднозначным, и в решении один исполнитель будет закреплен за несколькими работами, либо же одну работу будут выполнять несколько исполнителей.

Однако, в рассматриваемом случае есть ряд ограничений. Элементы множества B'' не всегда взаимозаменяемы, потому как они могут относиться к различным классам информационных систем. Число средств обеспечения B'' может отличаться от количества элементов A'' , и тогда речь идет не об отображении A'' на B'' , а отображении A'' в B'' . Решение задачи заключается в поиске элементов B'' , максимально соответствующих заданным критериям, функции которых полностью бы покрывали элементы A'' . Элементы A'' являются частью A , т.е. $A'' \subset A$.

Таким образом, предлагаемый подход к обоснованию состава ИИС АЭС, последовательность реализации которого показана на рис. 3, включает в себя, как составную часть, представленный ниже метод выбора средств обеспечения, где более четко сформирована задача отображения.

4. Отображение ФЧ в ОЧ системы управления соответствует двудольному графу, возможный вариант которого показан на рис. 4. Элементы множеств A'' и B'' связаны взвешенными ребрами множества $K = (K_1, K_2, \dots, K_n)$.

Веса ребер представляют собой обобщенную оценку K , включающую критерии потребительской оценки программных комплексов и систем [11].

Элементы множества $K = (K_1, K_2, \dots, K_n)$ формируются на основе обобщенного суждения экспертов [12], опираясь на 100-балльную шкалу оценивания, с использованием нормированного вектора весов критериев. Нормированный вес критерия W_i рассчитывается по формуле

$$W_i = Y_i / \sum_{j=1}^m Y_j,$$

где Y_i – оценка важности i -го критерия, m – общее количество критериев сравнения.



Рис. 3. Последовательность реализации подхода к обоснованию структуры ИИС АЭС

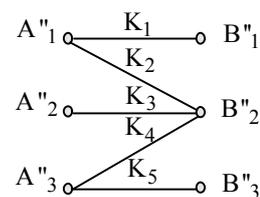


Рис. 4. Отображение A'' в B''

Обобщенная оценка K вычисляется на основании формулы:

$$K = \sum_{i=1}^m W_i X_i,$$

где X_i – экспертная оценка по i -му критерию.

В данной работе использованы следующие критерии оценивания:

1. Функциональность – функциональная полнота системы. Если система поддерживает все требуемые функции A , то данный показатель равен 100 баллов. Учитывается поддержка функций как в существующих продуктах, так и в будущих релизах.

2. Стоимость внедрения, которая включает стоимость приобретения, инсталляции и развертывания информационной системы.

3. Стоимость эксплуатации – затраты на эксплуатацию, приобретение дополнительных лицензий и масштабирование системы.

4. Время внедрения – время необходимое для инсталляции, настройки, импорта накопленных данных и обучения сотрудников, использующих систему.

5. Надежность, отражающая точность и достоверность передаваемых данных.

Выбор средств обеспечения

Сегодня в Украине уже достигнут определенный технико-экономический эффект в части повышения надежности и экономичности АЭС в результате автоматизации задач технологического управления процессами и объектами, т.е. создания АСУ ТП на уровне энергоблоков [3]. Однако, все еще недостаточен объем автоматизации процессов экономического управления и управления основными фондами (энергооборудованием).

Выше были выделены три направления задач, решаемых в системе управления АЭС: A_1 – управление технологическими процессами, связанное с объектом Π_1 и элементами множеств C и D , A_2 – экономическое управление, связанное с функциями персонала объекта Π_2 , A_3 – управление техническим обслуживанием и состоянием основных фондов, в котором задействован персонал, работающий на Π_1 и Π_5 .

Поиск элементов множества A , для которых требуются новые средства обеспечения из множества B , или же их обновление, выполняется на основе алгоритма, показанного на рис. 5.

На основании анализа информационных систем [2, 10, 13], применяемых сегодня в энергетической отрасли для автоматизации данных направлений, сформировано множество средств обеспечения B , в которое вошли 7 элементов. Элементы $B_{1i} \in B_1$

предназначены для автоматизации функций, составляющих A_1 , $B_{2i} \in B_2$ – для A_2 , $B_{3i} \in B_3$ – для A_3 , где $A_i \subset A$.



Рис. 5. Алгоритм поиска элементов множества A

Множество B включает в себя следующие системы:

- верхний уровень АСУТП: B_{11} – ИВС «Комплекс-Титан 2», B_{12} – «Вулкан»;
- ERP системы (или их автономные модули): B_{21} – «Парус-Предприятие 8», B_{22} – «1С: Предприятие», B_{23} – «Универсал 7»;
- ЕАМ системы: B_{31} – «TRIM», B_{32} – «Галактика (ТОРО)».

Обобщенные экспертные оценки K данных систем, представлены в табл. 1.

Лучший вариант с суммарной оценкой баллов равной 249,31:

$$B_{11} \cup B_{21} \cup B_{31}.$$

Данное отображение A в B показано на рис. 6.

Таблица 1
Оценка информационных систем

Система	Оценка, балл
V''_{11} – ИВС «Комплекс-Титан 2»	83,9
V''_{12} – «Вулкан»	59,43
V''_{21} – «Парус-Предприятие 8»	79,38
V''_{22} – «1С: Предприятие»	72,2
V''_{23} – «Универсал 7»	78,32
V''_{31} – «TRIM»	86,03
V''_{32} – «Галактика (ТОРО)»	77,81

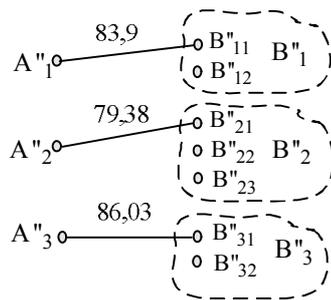


Рис. 6. Отображение A в V''

Таким образом, предлагаемая ИИС включает ИВС «Комплекс Титан 2» верхнего уровня АСУТП, «Парус-Предприятие 8» для автоматизации процессов управления финансово-хозяйственной деятельностью, а также программный комплекс «TRIM» для поддержки управления техобслуживанием и ремонтами основных фондов.

Пользователи ИВС «Комплекс Титан 2» связаны с P_1 и обеспечивают управление реализацией функций C_1, C_2, C_3 с применением ресурсов ОЧ УС D_1, D_2, D_3 . «Парус-Предприятие 8» поддерживает персонал, работа которого связана с подмножеством P_2 , а «TRIM» – персонал P_5 .

Информационная система, основанная на выбранных элементах множества V'', предусматривает интеграцию информационных систем и автономных модулей, в которых данные об изменениях в техническом состоянии энергооборудования в ИВС АСУТП передаются ЕАМ, где на основе технического паспорта, истории ремонтов и дефектов оборудования формируется наряд на обслуживание или ремонт единицы техники. Информация о выходе из строя некоторого элемента оборудования и выделении ремонтной бригады отражается в соответствующем модуле ERP.

Таким образом, ИИС позволяет отображать актуальную информацию о состоянии оборудования и финансово-экономических показателях, проведении

мероприятий работниками станции, а также подрядчиками, обеспечивает оперативность технического обслуживания и проведения ремонтных работ [10, 13]. В результате снижается аварийная опасность и возможный материальный ущерб Z', простои оборудования и сроки проведения планово-предупредительных работ, что ведет к увеличению количества вырабатываемой электроэнергии.

Заклучение

Обоснование состава ИИС АЭС на базе теоретико-множественной модели процессов предприятия позволяет выделить основные направления автоматизации в системе управления, сохраняя связь с производственным процессом и его ресурсами. Предлагаемый в статье подход предусматривает постепенный переход от обобщенного описания АЭС к определению функций, для которых необходимо создание или обновление информационной поддержки, с последующим выбором программных и аппаратных средств ее обеспечения с максимальной оценкой по заданным критериям.

Данный подход к обоснованию состава интегрированной информационной системы предприятия может быть использован и для других предприятий энергетической отрасли, к примеру, теплоэлектростанции, процесс производства электроэнергии на которых частично подобен соответствующему процессу на АЭС.

Литература

1. Официальный сайт ГП НАЭК «Энергоатом» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atom.gov.ua>.
2. Горелик А.Х. Состояние, реконструкция и развитие систем управления энергоблоками ТЭС и АЭС / А.Х. Горелик // Энергетика и электрификация. – 2002. – №1. – С. 48-51.
3. Дуэль М.А. Автоматизация задач экономического управления в интегрированных АСУ ТЭС / М.А. Дуэль, И.Г. Шелепов // Энергетика и электрификация. – 2008. – № 10. – С. 36-42.
4. Белоусов А.И. Дискретная математика: Учеб. для вузов / А.И. Белоусов, С.Б. Ткачев; под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с.
5. Велленройтер Х. Функционально-стоимостной анализ в рационализации производства: пер. с нем. / Х. Велленройтер. – М.: Экономика, 1984. – 112 с.
6. Системный анализ в экономике и организации производства: учеб. для вузов / Год ред. С.А. Валудева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – 398 с.

7. Кристофидес Н. Теория графов: Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М.: Мир, 1979. – 432 с.

8. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции / Т.Х. Маргулова. – М.: ИздАТ, 1994. – 291 с.

9. Михалевич В.С. Математические модели и методы оценки риска на экологически опасных производствах / В.С. Михалевич, П.С. Кнопов, А.Н. Голодников // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – № 2. – С. 121-139.

10. Антоненко И.Н. Автоматизация технического обслуживания и ремонта на Смоленской атом-

ной станции / И.Н. Антоненко, О.В. Комонюк // Электрические станции. – 2006. – № 9. – С. 31-32.

11. Коптелов А. Процессно-ориентированный подход к внедрению ИТ-решений / А. Коптелов, А. Дроздов // Проблемы теории и практики управления. – 2007. – № 11/ – С. 65-73.

12. Орлов А.И. Теория принятия решений / А.И. Орлов. – М.: Издательство Экзамен, 2006. – 629 с.

13. Атомный hi-tech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://parus.com/company/news/2003/06/26/27.html>.

Поступила в редакцию 2.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных технологий проектирования летательных аппаратов Е.А. Дружинин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

В.О. Попов, В.С. Костюк, Н.В. Єрьоменко

Приведено обґрунтування складу інтегрованої інформаційної системи атомної електростанції на основі формалізованого зображення процесів виробництва та управління підприємства. Формалізація процесів реалізована за допомогою теорії множин та відношень. Запропонована системна модель підприємства, а також підхід, що дозволяє переходити від теоретико-множинного макроопису об'єкту до визначення засобів інформаційної підтримки системи управління. Порівняння та вибір відбуваються в процесі пошуку розв'язання нестандартної задачі про призначення. Показано застосування підходу та опис запропонованої інформаційної системи атомної електростанції.

Ключові слова: атомна електрична станція, інтегрована інформаційна система об'єкту, теоретико-множинне зображення, засоби забезпечення інформаційної підтримки, задача про призначення.

SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURE OF THE CONTROL SYSTEM INFOTAINMENT ASSETS OF THE POWER GENERATING ENTERPRISE

V.A. Popov, V.S. Kostyuk, N.V. Yeryomenko

The substantiation of the integrated information system structure at the nuclear power station based on the enterprise manufacture and control processes formalized representation is presented. Formalization of the processes is carried out by means of the theory of sets and relations. The system model as well as the approach to the proceeding from the macro description of the object in the set theory to the definition of the control system infotainment assets is offered. Comparison and choice of the infotainment assets are carried out while the solution search of the non-standard assignment problem. Application of the approach and the description of the proposed integrated information system of the nuclear power plant are shown.

Keywords: nuclear power plant, the integrated information system of the object, representation in the set theory, infotainment assets, assignment problem.

Попов Вячеслав Алексеевич – канд. техн. наук, профессор кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Костюк Виктория Сергеевна – магистр кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Єрьоменко Наталія Валентиновна - аспірант кафедри інформаційних управляючих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.