

Оптимальное управление производственными активами предприятий энергетики

О. М. Проталинский¹, И. А. Щербатов²

Московский энергетический институт

¹protalinskiy@gmail.com, ²shcherbatovia@mpei.ru

И. О. Проталинский

Группа компаний «Бест»

protalinskii.i.o@astra-best.ru

А. А. Ханова

Астраханский государственный технический университет

akhanova@mail.ru

Аннотация. В работе поставлена и решена задача оптимального управления производственными активами энергетических предприятий на примере сетевой межрегиональной распределительной компании. Актуальность решаемой задачи обусловлена необходимостью минимизации финансовых затрат предприятий энергетики на поддержание оборудования в надлежащем техническом состоянии. Решена задача составления оптимальных по затратам ремонтных программ в условиях обеспечения заданного уровня надежности оборудования. Показано применение синтезированных моделей и алгоритмов в составе соответствующего программного обеспечения.

Ключевые слова: производственные активы; оптимальное управление; ремонтная программа; энергетика; промышленность; надежность; нейронная сеть

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время эффективность управления производственными активами является ключевым направлением повышения экономических показателей предприятий (эффективность эксплуатации оборудования, расходы на его ремонт и обслуживание, повышение прибыли за счет экономии на процессах приведения оборудования в надлежащее техническое состояние) [1]. Энергетика является высокопроизводительной и ресурсоемкой отраслью экономики.

Индикатор эффективности управления производственным активом – совокупность технико-экономических показателей, характеризующих деятельность предприятия в различных аспектах и позволяющая дать комплексную оценку эффективности его функционирования. При этом существует однозначная связь между группами показателей, которые являются противоречивыми, например, повышение надежности оборудования предполагает дополнительные затраты [2]. При управлении производственными активами для устранения противоречивости технико-экономических показателей необходимо обеспечивать их сбалансированность.

Таким образом, цель управления производственными активами – обеспечение сбалансированности технико-экономических показателей [3-4], и как следствие – их комплексная оптимизация.

Достижение этой цели обуславливается сочетанием решения технических задач (оценивание текущего технического состояния, прогнозирование надежности оборудования и т.д.) с обеспечением требуемых значений экономических показателей (например, стоимость ремонтных программ).

Обеспечение надежности и долговечности технологического оборудования предприятий энергетики, анализа ремонтпригодности [5] и производственных рисков [6] позволяет реализовать его функциональность и стабильность производственного цикла. При этом экономическая составляющая процесса управления производственными активами определяет возможности и границы решения инженерных задач.

II. СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Системный анализ показывает, что основной составляющей, определяющей эффективность производственных процессов предприятий энергетики, является единица оборудования, как наиболее распространенная компонента производственного актива энергетической отрасли.

На поддержание работоспособности единиц технологического оборудования предприятиями энергетики выделяются существенные материальные средства, поэтому оптимизация данного вида затрат является крайне актуальной.

Техническим эффектом при решении данной задачи является обеспечение надежности энергосистемы (за счет ремонта и диагностики оборудования на основе реального технического состояния), а социальным – сокращение доли рутинного труда (за счет автоматизации расчета оптимальной ремонтной программы) и повышение интеллектуального уровня персонала (вследствие появления мощного аналитического инструментария).

решения крайне актуальной задачи управления производственными активами).

В работе решается задача оптимального управления ремонтными программами энергетических предприятий сетевой структуры (межрегиональных распределительных сетевых компаний).

III. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ АКТИВАМИ

С позиций прикладного системного анализа предприятие (межрегиональная сетевая распределительная компания) – многоуровневая иерархическая структура: система – подсистема – элемент, имеющая переменное количество уровней вложенности (рис. 1).

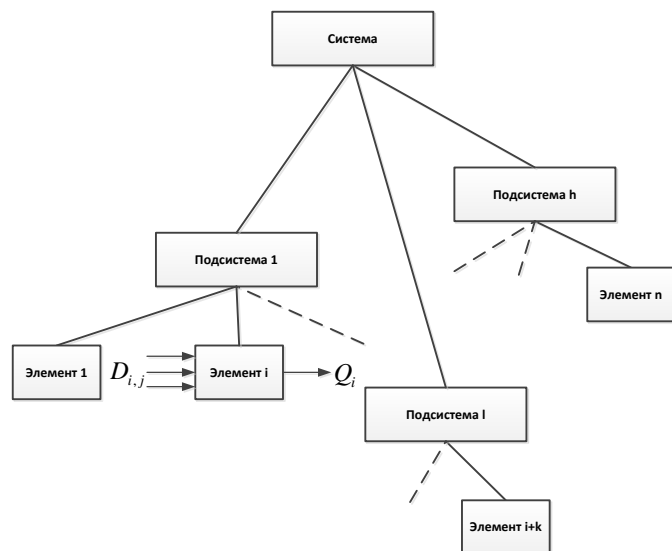


Рис. 1. Иерархическая структура производственной системы

В качестве элемента рассматривается единица оборудования (конкретный предохранитель, выключатель, трансформатор и пр.), подсистемы – комплексный объект (например, силовая подстанция), системы – структурное подразделение сетевой организации (например, район электрических сетей или производственное отделение). При этом объектом управления является система в целом, а синтез решений осуществляется снизу вверх: от элемента к системе. В силу того, что элементы внутри подсистем, а также сами подсистемы соединены параллельно, последовательно или используют смешанную схему соединения, то существует возможность расчета надежности системы в целом.

Отличительной чертой данного класса объектов управления является большое количество однотипных элементов, имеющих невысокую размерность (малое количество входных и выходных координат) и широкий перечень единиц оборудования (объединенных в соответствующие группы оборудования).

Энергетическая система как объект управления характеризуется высокой размерностью и большим объемом обрабатываемой информации на различных

уровнях иерархии. Это означает, что для обработки указанного объема данных должны применяться высокоэффективные и производительные методы, например, методы теории искусственных нейронных сетей.

Назначение системы управления производственными активами (СУПА) – обеспечение надежности производственных активов предприятий энергетики и экономичности процессов его жизненного цикла. Поэтому решаемая задача может быть уточнена и сформулирована как минимизация экономического критерия (стоимости ремонтной программы) при обеспечении заданного уровня надежности системы.

Одним из основных экономических показателей определяющих эффективность использования производственных активов, является стоимость их владения на жизненном цикле, что включает в себя первоначальные затраты на его приобретение и затраты на поддержание функциональности в процессе эксплуатации с заданной надежностью.

Вторая составляющая обеспечивается оптимальным планированием и реализацией ремонтной программы энергетической системы. Поэтому в качестве критерия оптимальности может быть выбран экономический показатель – затраты на реализацию ремонтной программы, а в качестве показателя надежности вероятность отказа объекта управления, которая является ограничением в решаемой задаче оптимального управления производственными активами.

Достижение минимума критерия оптимальности на временном интервале управления (период планирования – срок реализации оптимальной ремонтной программы, сформированной априори) при выполнении ограничений достигается формированием оптимальной ремонтной программы. При этом управлением является решение о включении того или иного дефекта в ремонтную программу, соответственно управляющие переменные имеют булевы значения.

Постановка декомпозированной задачи оптимального управления производственными активами в формализованном виде может быть поставлена следующим образом:

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{i,j}(D_{i,j}) \rightarrow \min \\ Q \leq Q_{кр} \end{cases} \quad (1)$$

где $D_{i,j}$ – j -й дефект на i -ом элементе системы, $i = \overline{1, n}$, n – общее число элементов в системе, $j = \overline{1, m}$, m – общее число дефектов для конкретного элемента; Q_i – вероятность отказа i -го элемента системы; $S_{i,j}(D_{i,j})$ – стоимость устранения j -го дефекта на i -ом элементе системы; S – общие затраты на ремонтную программу сетевой организации; T – период управления (планирования оптимальной ремонтной программы); Q –

вероятность отказа объекта управления при реализации оптимальной ремонтной программы; $Q_{кр}$ – критическое значение вероятности отказа системы.

Для определения экономических показателей функционирования производственных активов и критерия оптимальности (стоимость реализации ремонтной программы производственных активов) построена экономико-математическая модель, в основе которой лежит расчет затрат на исправление типового дефекта отдельного элемента системы.

В качестве входных данных математической модели используется информация о типе дефекта и элемента, выходом – затраты на реализацию текущего варианта ремонтной программы всей системы. Источником информации для этих расчетов является технологическая карта, где содержатся данные о ресурсах – трудовых и материальных, требуемых для ремонта единицы оборудования. Здесь же содержится информация о весовых коэффициентах, изменяющихся в зависимости от внешних условий – региона, погоды, рельефа местности. Весовые коэффициенты необходимы для учета степени важности (влияния) дефектов, устранение которых запланировано в ходе реализации оптимальной ремонтной программы сетевой компании.

Для определения показателей надежности элементов системы построена математическая модель в виде искусственной нейронной сети, позволяющая прогнозировать вероятность отказа в зависимости от факта включения дефекта в ремонтную программу.

Фактически искусственная нейронная сеть представляет собой многослойный персептрон прямого распространения сигнала с одним промежуточным слоем и сигмоидными функциями активации нейронов. Число нейронов промежуточного слоя и вид функций активации нейронов выбирается на основе следствий из теоремы Колмогорова-Арнольда-Хех-Нильсена [7].

Обучение нейронной сети осуществлялось с использованием алгоритма Левенберга-Марквардта, в качестве функции активации сигмоидная [8]. Для расчета показателей надежности системы в целом разработаны алгоритмы на основе известных формул расчета надежности сложных систем [9].

На основании значений вероятности отказа каждого элемента с использованием известных формул расчета надежности для нерезервируемых систем (последовательное соединение) и систем с нагруженным резервом (параллельное соединение) определяются показатели надежности каждой подсистемы и системы в целом («снизу вверх»).

Для поиска минимума критерия оптимальности синтезированы итерационные алгоритмы, включающие процедуры расчета показателей надежности системы и определения значения критерия оптимальности с использованием экономико-математической модели. В основе поисковой процедуры лежит модернизированный метод просеивания [10].

Для каждого элемента системы определяется вероятность отказа при отсутствии воздействия на зафиксированные дефекты, при их полном устранении, а также стоимость ремонтной программы для каждого элемента.

В соответствии с приведенной выше процедурой расчета надежности элементов, подсистем и системы в целом определяются соответствующие значения вероятности отказов для подсистем и системы в целом, а также стоимость ремонтной программы при устранении всех дефектов. Как правило, рассчитанная таким образом стоимость ремонтной программы многократно превышает имеющиеся у сетевой межрегиональной распределительной компании финансовые ресурсы. Поэтому ее необходимо оптимизировать так, чтобы для имеющегося объема финансовых средств обеспечивался уровень надежности системы не ниже заданного.

Из определенного выше диапазона вероятности отказа задается требуемое значение надежности системы и интервал точности ее расчета.

Этот интервал разбивается на ряд подинтервалов с фиксированным шагом, определяемым необходимой точностью расчета надежности (как для системы, так и для подсистем). Для каждого значения вероятности отказа системы формируются варианты его достижения – комбинация показателей надежности подсистем предыдущего иерархического уровня.

После определения всех допустимых для данного значения вероятности отказа системы вариантов осуществляется переход на уровень иерархии ниже (подсистемы) и выполняется аналогичная процедура для определения показателей надежности каждой подсистемы, при этом комбинации значений вероятности отказа формируются на уровне элементов.

Далее производится расчет всех возможных комбинаций, удовлетворяющих полученному выше значению надежности соответствующей подсистемы. Для каждой комбинации показателей надежности осуществляется расчет стоимости ремонтной программы. При достижении уровня элементов реализуется обратный процесс «снизу-вверх» и определяется стоимость ремонтной программы для каждого элемента, подсистемы и системы в целом, удовлетворяющих требованиям заданной надежности.

Из полученных значений стоимости выбирается наименьшее, что обеспечивает заданную надежность системы при минимальной стоимости ремонтной программы.

IV. СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ АКТИВАМИ

Рассматриваемая задача имеет высокую размерность и большой объем обрабатываемой информации. Для реализации данной специфики вычислительные процедуры усовершенствованы за счет введения механизма параллельных вычислений и возможности

синтеза многовариантных наборов управлений на каждой итерации поискового алгоритма. Это позволяет существенным образом сократить вычислительные затраты на проведения промежуточных расчетов при построении оптимальной ремонтной программы.

Структура системы оптимального управления производственными активами сетевой межрегиональной распределительной компании представлена на рис. 2.

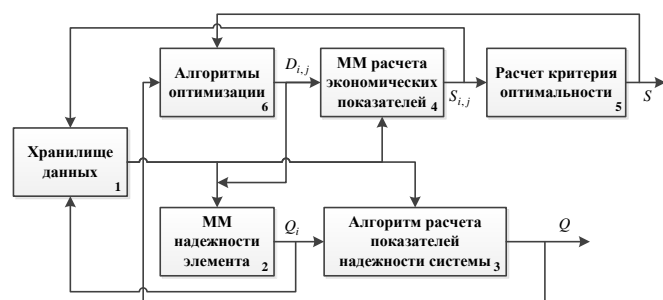


Рис. 2. Структура системы оптимального управления производственными активами

Данная система функционирует следующим образом.

Хранилище (блок 1) содержит информацию о топологии сети, характеристиках оборудования, статистику по дефектам и отказам, которая используется для формирования обучающей и тестовой выборок при построении и адаптации искусственной нейронной сети. Кроме того, в хранилище содержится информации по технологическим картам и стоимости работ, проведение которых будет запланировано в составе оптимальной ремонтной программы.

Блок 6 (содержит синтезированные алгоритмы вычисления экстремума критерия оптимальности) синтезирует набор управляющих воздействий, на основе которых осуществляется расчет технико-экономических показателей (блок 4) и значения критерия оптимальности (блок 5).

Блоки 2 и 3 определяют соответствующие данному набору управлений показатели надежности (вероятности отказа конкретного элемента системы, а также подсистем и системы в целом на основании формул расчета последовательно, параллельного и смешанного соединений элементов/подсистем).

В блоке 6 осуществляется анализ полученных данных на соответствие условиям в форме (1), после чего синтезируется новый набор управлений и рассчитывается стоимость ремонтной программы.

Итерационная процедура повторяется до определения набора управляющих воздействий, удовлетворяющих приведенным условиям в форме (1).

V. РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ АКТИВАМИ В СОСТАВЕ ЕАМ-СИСТЕМЫ ОРТИМА

На основании предложенных в рамках данной работы модифицированных методик и методов в составе разработанной компанией «Бест Софт» системы класса ЕАМ «Ортим» реализован расчет оптимальной ремонтной программы для предприятий энергетики, в том числе для сетевых межрегиональных распределительных компаний. Информационная система «Ортим» имеет web-интерфейсы и состоит из двух отдельных подсистем – пользовательской и администратора.

Расчет вероятности отказа по группам оборудования, который используется при планировании оптимальной ремонтной программы, приведен на рис. 3.

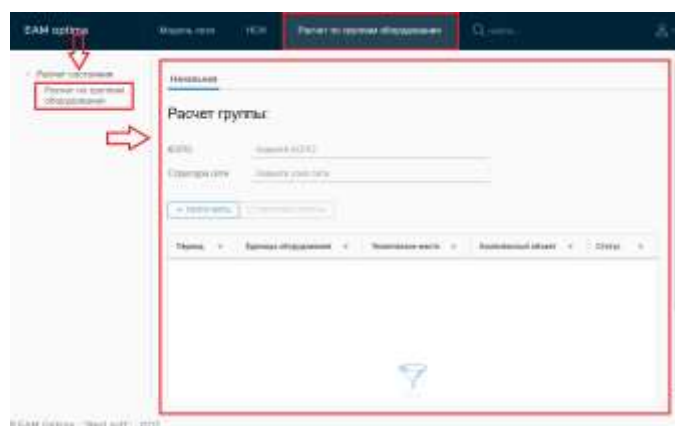


Рис. 3. Расчет показателей надежности по группам оборудования в ЕАМ Optima

Создание оптимальной ремонтной программы (годового плана мероприятий по приведению производственных активов в надлежащее техническое состояние с заданным уровнем надежности) представлено на рис. 4. Планирование может осуществляться как для всей системы предприятия, так и для ее отдельных подсистем, организационных и технических мест.

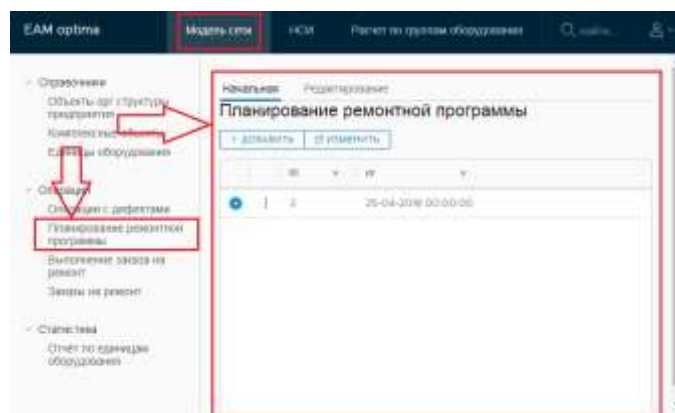


Рис. 4. Планирование оптимальной ремонтной программы в ЕАМ Optima

На рис. 5 приведен пример фрагмента рассчитанной в EAM Optima оптимальной ремонтной программы производственных активов предприятия энергетики.



Рис. 5. Пример оптимально ремонтной программы в EAM Optima

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная концепция оптимального управления производственными активами предприятий энергетики реализована для распределительных энергетических систем, имеющих иерархическую структуру, и может быть адаптирована для предприятий, связанных с генерацией электрической и тепловой энергии. Для расчета вероятности отказа оборудования применены искусственные нейронные сети. Реализованные методики и подходы были протестированы в составе разработанной компанией «Бест Софт» EAM-системы «Optima» и показали высокую эффективность при планировании ремонтных программ оптимальных с точки зрения финансовых затрат и обеспечивающих поддержание

производственных активов в надлежащем техническом состоянии при заданном уровне надежности элементов, подсистем и системы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Проталинский О.М., Проталинский И.О., Кладов О.Н. Система оптимального управления производственными активами энергетических предприятий // Автоматизация и IT в энергетике. 2017. № 4 (93). С. 5-8.
- [2] ГОСТ Р 55235.1-2012. Практические аспекты менеджмента непрерывности бизнеса. Менеджмент активов. Требования к оптимальному управлению производственными активами.
- [3] Bauer K. KPIs-The metrics that drive performance management. Information Management. 2004. Vol. 14, №. 9, pp. 63-64.
- [4] Bhatti M.I., Awan H.M., & Razaq Z. The key performance indicators (KPIs) and their impact on overall organizational performance. Journal of Quality & Quantity. 2014. Vol. 48, №. 6, pp. 3127-3143.
- [5] Ящур А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2006. 504 с.
- [6] Чернова Г.В. Практика управления рисками на уровне предприятия / Г.В. Чернова. СПб.: Питер, 2000. 176 с.
- [7] Yecht-Nielsen R. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem // IEEE First Annual International Conference On Neural Networks. 1987. Vol. 3. P. 11-13.
- [8] Stepanov P.V., Protalinsky O.M., Shcherbatov I.A. Neural network model of forecasting the state of equipment of energy enterprises. // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2017. Т. 12. № 2. С. 42-44.
- [9] Балакирев В.С., Большаков А.А. Надежность и диагностика автоматизированных систем. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. 144 с.
- [10] Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Т. 1, 2. М.: Мир. 1986. 320 с.