

Разработка информационной модели для управления активами территориально-распределенной корпорации на примере ФСК ЕЭС

Л.И. Абросимов, д-р техн. наук, А.Г. Чернов, асп.

Рассмотрена система информационных показателей для решения задач управления территориально-распределенной корпорацией, которая представлена в виде многомерного вектора, что позволяет осуществлять сбор, хранение, поиск и обработку данных. Изложение поясняется результатами анализа функционирования Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы.

Ключевые слова: информационная модель, управление активами, надежность характеристики функционирования активов, оценка эффективности функционирования, спецификация параметров активов, стратегии управления активами, риски возникновения технологических нарушений.

Development of Information Model for Asset Management of Territorial Distributing Corporation on Example of Federal Grid Company of Unified Energy System

L.I. Abrosimov, Doctor of Engineering, A.G. Chernov, Post Graduate Student

The article is devoted to the system of informational indicators for solving the problems in management of territorial distributing corporation, which is presented as a multidimensional vector. It allows us to collect, to keep, to search, and process the data. The article is supplied with the results of functioning analysis of Federal Grid Company of Unified Energy System.

Key words: informational model, asset management, reliability characteristics of assets functioning, performance evaluation of functioning, specification of asset parameters, asset management strategies, risks of technological disturbances.

Территориально-распределенные корпорации (ТРК) характеризуются непрерывными технологиями транспортировки по большим территориям и промежуточной обработки материальных продуктов в реальном времени.

Примерами ТРК в российских условиях являются Федеральная сетевая компания (ФСК), Транснефть, Газпром [1, 2]. ТРК являются сложными техническими объектами, успешное функционирование которых, в первую очередь, обеспечивается исправным оборудованием и эффективным управлением.

Ниже рассматриваются ТРК, обеспечивающие обслуживание объектов электроэнергетики [3, 4]. Высокие требования, предъявляемые к надежности функционирования ТРК, приводят к тому, что необходимо постоянно контролировать процесс технологического производства.

Проблемы, осложняющие реализацию качественного управления ТРК, определяются рядом причин, к которым относятся: наличие большого количества активов, размещение оборудования по большой территории, многоуровневая система управления, необходимость сочетания глобальных целей с большим количеством локально управляемых объектов.

В последующем изложении используется понятие *актив* (А).

Актив (сетевой актив) – оборудование, конструкции, здания и сооружения ТРК, которые непосредственно используются для передачи электроэнергии или выполняют иную функцию, связанную с передачей электроэнергии.

Система управления активами ТРК выполняет следующие функции:

- интегрирует организационно-производственные и финансово-политические решения;
- реализует планирование распределения ресурсов на основе баланса рисков, надежности и затрат;
- обеспечивает оптимальную эксплуатацию активов компании;
- обеспечивает полную, своевременную и единую информацию для принятия решений.

Постановка стратегической задачи управления. Количественная оценка эффективности Э функционирования ТРК в течение интервала времени Т определяется как разность дохода Д, полученного за этот интервал, и затрат С на обеспечение функционирования ТРК, т.е.

$$\mathcal{E} = D - C. \quad (1)$$

Для Федеральной сетевой компании (ФСК) доход Д за интервал времени Т определяется объемом W переданной электроэнергии и тарифом θ :

$$D = W \theta. \quad (2)$$

Наличие большого количества сложного оборудования, определяющее активы А, которое эксплуатируется в непростых природных условиях, приводит к тому, что фактический объем W^Φ переданной электроэнергии меньше номинального W на величину потерь ΔW переданной электроэнергии, что приводит к уменьшению фактического дохода D^Φ , т.е.

$$D^\Phi = (W - \Delta W) \theta. \quad (3)$$

Сокращение потерь ΔW переданной электроэнергии может обеспечиваться различными стратегиями S управления активами.

Таким образом, *стратегическая задача* управления активами ТРК может быть сформулирована следующим образом [5].

Для ТРК, обладающей множеством активов A , множеством тарифов θ за передачу множества соответствующих объемов W электроэнергии, допускающих использование множества стратегий S управления активами, требуется выбрать стратегию $S_i \subseteq S$, которая максимизирует эффективность Э функционирования ТРК в течение интервала времени T при ограничении затрат C , на обеспечение функционирования ТРК.

В результате решения стратегической задачи управления активами необходимо выработать сбалансированные соотношения между производственными характеристиками P , рисками R при использовании стратегий S и затратами C , учитывающими в соответствии с выбранными стратегиями важность активов для обеспечения требуемого уровня надежности активов ТРК.

Практическая реализация задач стратегического управления предусматривает техническое обслуживание активов, ремонт, замену активов и новое строительство.

Решение стратегической задачи управления активами ТРК требует учета большого количества параметров, которые должны обеспечить:

- описание системы управления ТРК;
- агрегацию и декомпозицию описаний;
- сбор, хранение, поиск и обработку параметров, имеющих широкий спектр количественных описаний.

Для выполнения перечисленных требований необходима разработка информационной модели, основу которой составляет спецификация параметров ТРК.

Формализация параметров для информационной модели управления активами ТРК. Анализ стратегической задачи управления активами ТРК показал, что в соотношении (3), которое определяет целевую функцию управления, тариф θ определяется: себестоимостью затрат на владение активами и разрешенным процентом дохода.

Себестоимость затрат на владение активами A определяет нижнюю границу тарифа θ . Верхняя граница определяется процентом дохода, который не зависит от ТРК и формируется в условиях внедрения рыночных отношений в России сложной системой взаимодействия собственников и органов государственного управления.

Объем W передаваемой электроэнергии определяется:

- потребностями пользователей;
- возможностями генерирующих компаний.

ТРК может активно влиять только на предельные значения перетоков электроэнергии, которые определяются техническими характеристиками задействованных активов.

Следовательно, объем W^Φ фактически переданной электроэнергии можно определить по следующему соотношению:

$$W^\Phi = I^0 W, \quad (4)$$

где I^0 – обобщенный индекс технического состояния всех активов системы.

В общем случае I^0 функционально зависит от множества параметров:

$$I^0 = f(M, B, \Phi, S, R, P, C), \quad (5)$$

где M – множество координат местоположения актива; B – множество параметров технических характеристик активов; Φ – множество параметров функционального взаимодействия активов; S – множество параметров стратегий управления активами; R – множество параметров рисков; P – множество параметров производственных характеристик; C – множество параметров затрат.

Для получения формализованного описания информационных и математических моделей управления активами ТРК введем детализированную спецификацию параметров активов для каждого множества M, B, Φ, S, R, P, C .

Разработанная спецификация параметров является основой информационной модели управления активами ТРК.

Координаты M местоположения актива. Особенностью ТРК является распределение большого количества активов по территории. Как правило, ТРК имеют иерархическую организационную структуру, которая обязательно согласуется с топологией и технологией процесса функционирования корпорации, а также с информационными процессами подготовки и принятия решений по управлению производством.

Разделение организационной структуры ТРК по уровням приведено в таблице.

Номер уровня	Наименование уровня	ТРК
1	Корпорация (Кор)	ФСК
2	Регион (Рег)	МЭС
3	Районные предприятия (Рн)	ПМЭС
4	Объекты (Об)	ПС
5	Устройства / сооружения	Активы (А)

Активы могут располагаться на каждом уровне. Однако в основном местоположением активов являются предприятия (4-й уровень). В рамках этого уровня может быть применена последовательная нумерация активов либо используется инвентарный номер принятой системы кодификации.

На основании иерархических уровней организационной структуры ТРК можно построить классификацию местоположения активов.

Каждому уровню классификации ставится в соответствии параметр m_i . Тогда координаты

наты местоположения актива можно записать в виде кортежа M :

$$M = (m_1, m_2, m_3, m_4, m_5), \quad (6)$$

где m_1 – признак (в корпорации или вне корпорации); m_2 – номер региона; m_3 – номер районного предприятия в регионе; m_4 – номер объекта районного предприятия; m_5 – инвентарный номер актива на объекте.

Таким образом, актив $a \in \mathbf{A}$, определенный в системе координат ТРК, записывается в виде

$$a(M) = a(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5). \quad (7)$$

Параметры \mathbf{B} технических характеристик активов. Актив $a \in \mathbf{A}$ обладает техническими характеристиками, значения которых, в первую очередь, определяются их техническим паспортом. Каждому параметру технических характеристик активов ставится в соответствие символ b_i ($b_i \in \mathbf{B}$).

Для электротехнических устройств к таким характеристикам можно отнести: тип устройства (b_1), силовое напряжение (b_2), рабочую мощность (b_3), номер классификатора (b_4), конструктивное выполнение (b_5), дату изготовления актива (b_6), код фирмы-производителя (b_7).

Количественные значения параметров b_i формируются на основе классификации либо на основе соответствующей технической метрики.

Таким образом, для каждого актива набор технических параметров \mathbf{B} можно записать в виде кортежа $(b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_{1N})$. Тогда присвоение активу a кортежа \mathbf{B} записывается в виде

$$a(\mathbf{B}) = a(b_1, b_2, \dots, b_i). \quad (8)$$

Параметры Φ функционального взаимодействия активов ТРК. Введенные определения местоположения M и технических параметров \mathbf{B} необходимо дополнить параметрами, которые учитывают особенности функционального взаимодействия активов в процессе функционирования ТРК.

Параметры Φ функционального взаимодействия должны характеризовать: уровень агрегации актива (ϕ_1); вид актива (ϕ_2); номер участка сети (ϕ_3); тип участка сети (ϕ_4); номер группы актива (ϕ_5); номер сети (ϕ_6); тип сети (ϕ_7).

В функциональной структуре активов ТРК можно выделить 3 уровня иерархической агрегации активов, которые соответствуют параметру ϕ_1 : 1) единица оборудования ($\phi_1 = 1$); 2) участок сети/группа активов ($\phi_1 = 2$) / ($\phi_1 = 3$); 3) сеть ($\phi_1 = 4$).

Все оборудование, отнесенное к единицам оборудования ($\phi_1 = 1$), параметром ϕ_2 классифицируется на 3 вида: 1) лидирующее ($\phi_2 = 1$); 2) зависимое ($\phi_2 = 2$) и 3) независимое ($\phi_2 = 3$) оборудование. Данная классификация является базой для выделения следующего иерархического уровня – «участка сети».

Под **лидирующим оборудованием** понимается основное оборудование, отключение которого влечет за собой необходимость от-

ключения другого присоединенного к нему оборудования подстанции или линии электропередач в целях соблюдения безопасности проведения работ и/или вследствие невозможности передачи электроэнергии.

Под **зависимым оборудованием** понимается оборудование, подключенное к лидирующим активам и обеспечивающее их функциональность.

К независимому оборудованию относится оборудование, отключение которого не влечет за собой необходимость отключений другого оборудования подстанции/ линии электропередачи, и, таким образом, поддержание технического состояния и замена оборудования могут производиться независимо.

Оборудование агрегируется по двум признакам: 1) функциональной необходимости вывода в ремонт, в результате чего образуется «участок сети» ($\phi_1 = 2$), и 2) однородности – «группа активов» ($\phi_1 = 3$).

Под **участком сети** понимается совокупность элементов сети, связанных функциональным назначением и имеющих одно диспетчерское наименование. Участки сети определяются лидирующими активами (линия электропередачи, трансформатор, система/секция шин и выключатель) и включают зависимые активы, обеспечивающие функциональность лидирующего актива.

Целью выделения участков сети является определение ремонтной группы оборудования, которая должна быть отключена для проведения работ по поддержанию технического состояния или замены оборудования в соответствии с требованиями техники безопасности или по условиям режима сети.

Выделение участков сети позволяет разбить сеть на независимые участки, каждому участку присваивается свой номер (ϕ_4), что позволяет осуществлять их моделирование независимо друг от друга, учитывая при этом все особенности соединений и взаимовлияний активов. Учитывая ограниченный набор типов лидирующего оборудования, можно выделить типы (ϕ_5) участка сети.

Однородная группа ($\phi_1 = 3$) активов представляет собой агрегацию активов с точки зрения схожих технических характеристик Φ оборудования, требующих одинаковых видов работ, сравнимой частоты и стоимости проведения работы по ремонту и замене оборудования.

Однородная группа активов формируются в целях определения группы (ϕ_6) оборудования по каждому виду актива, имеющему схожие технические характеристики и требующему одинаковых правил управления.

Сеть ($\phi_1 = 4$) представляет собой совокупность всех участков сети, т.е. всех единиц оборудования, соединенных между собой.

При оценке надежности сети в качестве исходных модулей выступают участки сети,

для которых определены надежность характеристики. В зависимости от сложности в рамках отдельных МЭС могут быть выделены несколько сетей (подсетей), которые характеризуются номером сети (ϕ_7) и типом сети (ϕ_8).

Таким образом, введенные параметры записываются как кортеж:

$$\Phi = (\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7, \phi_8), \quad (9)$$

что позволяет строго записать основные параметры, определяющие с разной степенью детализации взаимодействие активов в процессе функционирования с различными стратегиями.

Параметры S стратегий управления активами. Стратегии управления активами определяются как комбинации времени и последовательности проведения различных видов работ для конкретного актива в зависимости от его характеристик.

Параметры S стратегий управления активами должны характеризовать: классы стратегий управления активами (s_1); состояния активов (s_2); номер регламента мониторинга и контроля (s_3); вид отключения актива (s_4); номер регламента отключения (s_5); вид ремонтных работ (s_6); номер регламента ремонтных работ (s_7); оценку состояния актива (s_8).

Действия сотрудников корпорации направлены на сохранение рабочего технического состояния и сокращение аварийного состояния. Анализ опыта эксплуатации позволяет выделить следующие классы стратегий управления активами, которые определяются параметром s_1 :

- управление по аварийной стратегии, при котором деятельность персонала направлена на устранение аварии ($s_1 = 1$);
- управление по нормативной периодичности, при котором персонал для важных активов проводит периодически профилактические мероприятия и выполняет устранение аварий ($s_1 = 2$);
- управление по состоянию, при котором персонал для всех активов проводит периодически проверку состояния и выполняет устранение обнаруженных неисправностей либо последствий аварий ($s_1 = 3$);
- управление рисками и эффективностью, при котором персонал для всех активов проводит с учетом важности активов проверку их состояния и выполняет устранение обнаруженных неисправностей либо последствий аварий ($s_1 = 4$).

Активы ТРК могут находиться в следующих состояниях: рабочем ($s_2 = 1$); предаварийном ($s_2 = 2$); аварийном ($s_2 = 3$).

В соответствии с выбранной стратегией управления, сквозной цикл процессов системы управления активами включает в свой состав следующие этапы (рис. 1): мониторинг, контроль и корректировку, учитывающую измене-

ния режимов функционирования, а также планирование управляющих воздействий и их реализацию.

Для выполнения мониторинга и контроля активов составляется технический регламент мониторинга и контроля, который оформляется как документ, номер которого соответствует параметру (s_3).

Таким образом, с каждым активом, участвующим в реализации стратегии, ассоциируется номер регламента отключения.

Ввиду старения фонда активов и ухудшения их технического состояния, повышаются риски отключений, а также операционные риски, связанные с владением и управлением работой сети. Для управления сетью необходимо минимизировать случаи технологических нарушений в работе эксплуатируемого оборудования.

Подход по стратегии «эксплуатация активов, пока не произойдет сбой в работе» (s_1) является неприемлемым для большинства активов, связанных с передачей электроэнергии. В связи с этим необходимо поддерживать техническое состояние активов путем проведения планово-предупредительных работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР). Для проведения мониторинга и профилактических ремонтов выполняются плановые отключения. В случае аварий – внеплановые отключения.

Плановые отключения ($s_4 = 1$) – остановка работы актива на определенный период времени в связи с проведением плановых и дополнительных работ по диагностированию состоянию как на самом активе, так и на других активах сети. Периодичность проведения планово-предупредительных работ по ТОиР и замене должна быть зафиксирована в Регламенте управления активами.

К плановым работам относятся как планово-предупредительные работы в соответствии с Регламентом управления активами, так и дополнительные незапланированные работы по состоянию актива, выявленные по результатам проведения диагностики.

Внеплановые отключения ($s_4 = 2$). Определение внеплановых аварийных отключений основано на расчете величины риска в результате технологического нарушения в работе оборудования. При этом под риском понимается совокупность вероятности и последствий наступления технологического нарушения. Учет величины риска при оценке надежности элементов сети и сети в целом является важным аспектом, в связи с тем, что технологическое нарушение (ТН) в работе оборудования может оказать существенное влияние на эффективность работы элементов сети и сети в целом.



Рис. 1. Схема управления активами

Опыт, накопленный в процессе эксплуатации активов, интегрируется в виде пронумерованных регламентов, определяющих действия по выполнению отключений.

Параметры R рисков возникновения технологических нарушений. Ключевыми понятиями раздела являются: риск, реестр рисков, оценка риска.

Риск – вероятность технологического нарушения и влияние последствий технологического нарушения на деятельность компании.

Реестр рисков – документ, в котором фиксируются все риски компании, включая причины возникновения, последствия риска, вероятность возникновения и его влияние, а также необходимые действия, направленные на снижение риска и его контроль, и определяются ответственные за управление риском. Каждая стратегия управления учитывает соответствующий набор рисков.

Параметры **R** рисков возникновения технологических нарушений должны характеризовать: номер реестра рисков (r_1); номер риска в реестре (r_2); класс вероятностных оценок риска (r_3); количественную оценку вероятностных значений риска (r_4); класс временных оценок риска (r_5); значения временных оценок риска (r_6); виды технологических нарушений (r_7); возрастную группу технологических нарушений (r_8).

Множества **R** реестров рисков, которые идентифицируются номерами (r_1), входят в состав базы данных. Реестр (r_1) рисков рассмат-

ривается как база данных, в которой содержится состав учитываемых рисков всех стратегий **S**. Каждому риску ставится в соответствие:

– идентификатор (\bullet) актива $a(\bullet)$ или участка активов $A(\bullet)$, на котором риск (r_2) «проявляется». Для идентификации активов $a(\bullet)$ и участка активов $A(\bullet)$ используются координаты M и параметры B, Φ ;

– вероятность (r_4) возникновения риска (r_2) в зависимости от выбранной стратегии (s_1).

Параметры П производственных характеристик. Значительную роль в управлении активами играют контрольные показатели эффективности (КПЭ).

КПЭ – показатель, используемый в качестве индикатора изменения производственных характеристик, рисков или затрат элементов сети или сети в целом.

Основной целью системы КПЭ является оценка эффективности работы элементов сети при приемлемом уровне затрат для каждой оцениваемой стратегии управления активами и обеспечение критериев для принятия решения в части управления активами.

Система КПЭ использует три группы показателей функционирования ТРК: 1) показатели, характеризующие технические и функциональные особенности ТРК (**B, Φ**); 2) показатели рисков **R**; 3) показатели затрат **C**.

Каждая из групп показателей использует для возможности агрегирования и декомпози-

ции координаты местоположения **M** и параметры стратегий **S**.

В зависимости от области использования показатели можно сгруппировать по назначению и выделить: контрольные показатели, аналитические показатели, справочные (технические) показатели.

Контрольные показатели – показатели, являющиеся критериями для выбора стратегии управления активами. К контрольным показателям относятся показатели, рассчитанные на уровне сети, для которых устанавливаются целевые значения. Контрольные показатели обеспечивают надежность, готовность и безотказность сети.

В качестве количественных показателей надежности для актива $a(\bullet)$ используются:

– *коэффициент готовности* $k_1(\bullet)$ – отношение фактической продолжительности периода работы актива $a(\bullet)$ (с учетом плановых и аварийных отключений) к продолжительности календарного периода;

– *взвешенный коэффициент готовности* $k_2(\bullet)$ – отношение фактической продолжительности периода работы актива $a(\bullet)$ с учетом важности для функционирования сети в целом (для плановых и аварийных отключений) к продолжительности календарного периода;

– *коэффициент безотказности* $k_3(\bullet)$ – отношение фактической продолжительности периода работы актива $a(\bullet)$ (с учетом плановых и аварийных отключений) к плановой продолжительности периода работы (с учетом плановых отключений).

Затраты С на управления активами ТРК. Затраты – объем финансовых средств, необходимых на проведение работ по определению и поддержанию технического состояния актива, а также его замены: по каждому активу, по участку сети, по сети в целом.

Параметры затрат **С** на обеспечение функционирования ТРК рисков возникновения технологических нарушений должны характеризовать: классы затрат (c_1); категории затрат (c_2); количественные значения затрат (c_3).

Различают классы затрат: фактические ($c_1 = 1$), при реализации текущей стратегии управления, и планируемые ($c_1 = 2$), при различных стратегиях управления (s_1).

К различным категориям затрат относятся:

– затраты ($c_2 = 1$) на восстановление работоспособности ресурсов А, вызванных риском r ;

– затраты ($c_2 = 2$) на ликвидацию последствий возникновения риска r .

К затратам следует также отнести возмещение потерь ($c_2 = 3$) пользователей при возникновении аварийных отключений.

Введенные параметры информационной модели позволяют конкретизировать затраты за счет определения значений параметров $C(\bullet)$.

Таким образом, разработанная информационная модель ТРК, позволяющая сформировать формальную запись как для каждого актива a , так и для строго заданной группы А активов, имеет следующий вид:

$$a(\bullet) = a(M, B, \Phi, S, R, C); \quad A(\bullet) = A(M, B, \Phi, S, R, C),$$

где (\bullet) – вектор, содержащий фиксированные характеристики.

Заключение

Спецификация информационной модели позволяет строго описать характеристики детальные и агрегированные для единичных и сгруппированных активов.

Группы параметров M, B, Φ описывают производственные параметры, которые характеризуют состояние оборудование ТРК любой степени детальности.

Группы параметров S, R, C описывают параметры для выполнения расчетов по выбору эффективных стратегий управления ТРК.

Предложенная система информационных показателей информационной модели позволяет строго сформулировать и решить задачи анализа состояния ТРК в целом и его частей посредством вычисления оценки ключевых показателей в виде обобщенного индекса I^0 технического состояния всех активов системы.

Система информационных показателей позволит решать задачи управления ТРК, к которым в первую очередь можно отнести:

- оценку продолжительности и периодичности плановых отключений;
- определение необходимости проведения плановых замен оборудования;
- оценку рисков при различных стратегиях управления;
- распределение затрат, обеспечивающих повышение надежности функционирования ТРК.

Список литературы

1. Чернов А., Кувшинова Н. Система стала одним из основных инструментов управления многопрофильной компанией Intelligent enterprise / Корпоративные системы // EMC². – 2007. – Спецвыпуск. – С. 17–20.
2. Чернов А.Г. Информационная вертикаль // Трубопроводный транспорт нефти. – 2010. – №03. – С. 5–7.
3. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем: справочник. Т. 2. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 568 с.
4. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 320 с.
5. Абросимов Л.И., Чернов А.Г. Задача управления активами территориально-распределенной корпорации: тр. XVIII Междунар. науч.-техн. конф. «Информационные средства и технологии» (Москва, Московский Энергетический Институт (ТУ), Россия). – М., 2010. – Т. 2. – С. 195–200.
6. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения. – Ростов-н/Д: Терра Принт, 2007.

Абросимов Леонид Иванович,
Московский энергетический институт (ТУ),
доктор технических наук, профессор кафедры вычислительных машин, систем и сетей,
e-mail: AbrosimovLI@mpei.ru

Чернов Александр Григорьевич,
Московский энергетический институт (ТУ),
аспирант кафедры вычислительных машин, систем и сетей,
e-mail: AbrosimovLI@mpei.ru