

# Единый цифровой контур решения управленческих задач на энергогенерирующем предприятии

Современный тренд на цифровизацию производства затронул все сферы индустрии. Однако более глубокое осмысление самого понятия “цифровизация” в последние годы вносит свои коррективы в данный процесс. В первую очередь в настоящее время наблюдается ужесточение требований к точности количественной формализации задач цифровизации. Хорошо осевший в памяти старожилов ИТ-индустрии тезис о неприемлемости “автоматизации ради автоматизации” как никогда актуален сегодня применительно к цифровой трансформации. Бизнес осознал потенциальную пользу от внедрения цифровых технологий, однако не готов внедрять их для галочки или ради имиджевых сообщений и требует конкретных экономических результатов от каждого проекта или инициативы. Это естественным образом структурирует процесс цифровизации, приводит его к классической бизнес-схеме **постановка задачи → оценка эффектов от ее решения → выбор инструментов решения → реализация** и в конечном итоге определяет основной принцип цифровизации – прибыльность реализуемых проектов.

С технической точки зрения важным моментом при формулировке решаемых задач является системность, то есть увязывание ряда задач общей целью, выстраивание их согласованного решения, уход от узконаправленной попроцессной оптимизации в сторону рассмотрения предприятия как единой взаимосвязанной системы.

Помимо общих подходов определяющую роль играет знание специфики конкретной индустрии – умение сформулировать и формализовать конкретные задачи, которые предстоит решать. В настоящей работе проведен анализ управленческих задач энергогенерирующего предприятия, их взаимосвязей и методов согласованного решения с применением цифровых технологий. Анализ основан на опыте авторов в области внедрения новейших информационных и цифровых технологий на предприятиях энергетического сектора, как в РФ, так и за рубежом.

## Иерархия задач и контуры управления предприятием

Классический метод управления сложными системами, основанный на последовательном каскадном дроблении глобальной задачи управления на ряд локальных более простых подзадач, крайне актуален в современном менеджменте. В практике управления предприятием данный подход обычно реализуется в виде дерева КПЭ [1], формирующих иерархию локальных задач оптимизации, решение которых закреплено за отдельными структурными или процессными единицами (рис. 1). Каждая  $n$ -я задача (КПЭ) каждого уровня управления декомпозируется на совокупность из  $k = 1, \dots, K$  подзадач следующего, более низкого, уровня иерархии (путь разложения показан красным цветом на рис. 1).

$$\text{КПЭ}(n) = \begin{bmatrix} \text{КПЭ}(n_1) \\ \dots \\ \text{КПЭ}(n_k) \end{bmatrix} = \{ \text{КПЭ}(n_k) \},$$

где  $k = 1, \dots, K$

Результаты решения локальных задач управления каждого уровня последовательно складываются на более высоких уровнях и в конечном итоге формируют результат высшего уровня, например обеспечение максимальной прибыли предприятия (комплексирование КПЭ локальных задач на более высоком уровне показано синими стрелками на рис. 1). Указанные потоки информации фор-

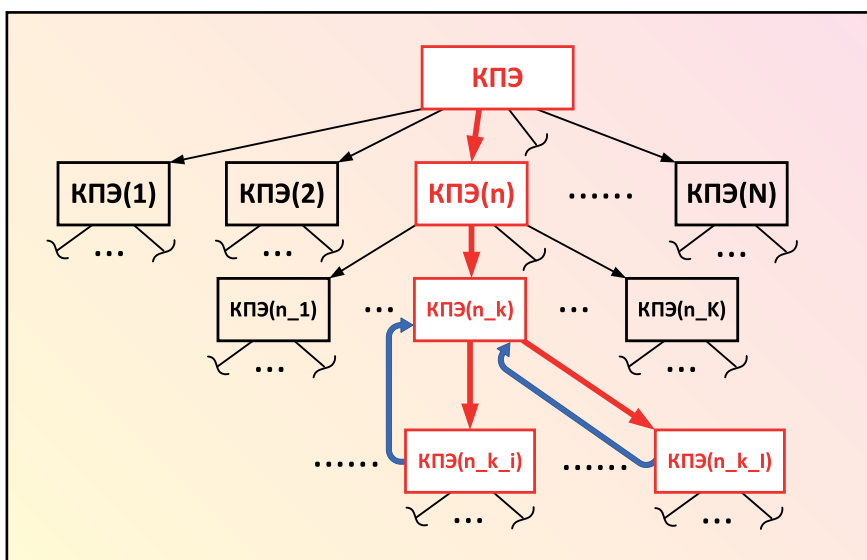


Рис. 1. Представление задач управления предприятием в виде иерархии КПЭ

мируют замкнутые контуры, которые в соответствии с классической теорией автоматического регулирования [2] могут быть интерпретированы как контуры обратной связи, объединенные в каскадную структуру, представленную на рис. 2.

Каждый из обозначенных контуров представляет собой отдельную задачу управления, для которой возможно разработать алгоритм решения [3], отвечающий определенным заданным требованиям. Требования к алгоритмам решения в свою очередь формализуются в виде задач

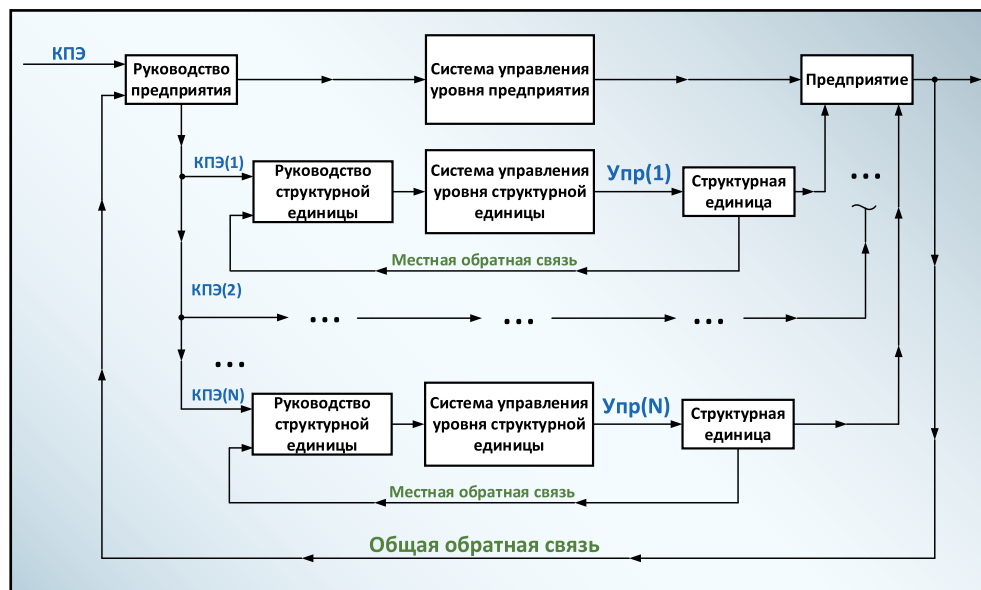


Рис. 2. Управление КПЭ предприятия по многоконтурной обратной связи

оптимизации формализованных целевых функций, которые, собственно, и соответствуют КПЭ структурных и процессных единиц предприятия. С учетом возможностей современной вычислительной техники любой алгоритм управления может быть представлен численной расчетной схемой и реализован в виде программного кода [3]. Указанные программные реализации алгоритмов управления в итоге становятся основой цифровых решений, присутствующих сегодня на рынке в огромном количестве. Как показано на рис. 2, контур обратной связи каждого вложенного уровня функционирует посредством информационной (цифровой) системы управления, ориентированной на решение локальной специфической задачи. Основными цифровыми (программными) решениями управления предприятием являются системы следующих типов, перечисленные в порядке понижения уровня задач управления:

### 1. Производственные системы:

- ▶ **EAM** (Enterprise Asset Management) – системы управления активами предприятия;
- ▶ **ERP** (Enterprise Resource Planning) – системы планирования ресурсов предприятия (в части основных производственных процессов, а также обслуживания оборудования);
- ▶ **Системы планирования** (производственных процессов, обслуживания и т.п.);
- ▶ **MES** (Manufacturing Execution System) – системы управления производственными процессами;
- ▶ **APC** (Advanced Process Control) – системы улучшенного (оптимального) управления технологическими процессами;
- ▶ **Системы мониторинга и прогнозирования** (например, предиктивной диагностики);
- ▶ **SCADA & DCS** (Supervisory Control and Data Acquisition & Distributed Control Systems) – системы сбора технологической информации и компьютерного управления агрегатами, фактический эквивалент АСУ ТП;
- ▶ **PLC** (Programmable Logic Controller) – программируемые логические контроллеры – устройства,

реализующие логику управления нижнего уровня (например, алгоритмы ПИД-регулирования, последовательности операций включения/выключения/смены режима, аварийные защиты и т.п.).

### 2. Непроизводственные системы:

- ▶ **ECM** (Enterprise Content Management) – системы управления корпоративным контентом, представленном в виде знаний, документов, потоков работ и т.п.;
- ▶ **BPM** (Business Process Management) – системы управления процессами предприятия с точки зрения их полной определенности (что, кто, где, когда, зачем и как выполняет определенную работу) и взаимосвязанности (результаты выполнения каких бизнес-процессов являются исходными данными для выполнения каждого процесса предприятия);
- ▶ **ERP** (Enterprise Resource Planning) – системы планирования ресурсов предприятия (в части финансов, кадрового управления и проч.);
- ▶ **Системы планирования** (логистики, поставок, закупок и т.п.);
- ▶ **CRM & SRM** (Customer & Supplier Relationship Management) – системы взаимодействия с контрагентами (клиентами и поставщиками).

Пример распределения функций управления между системами проанализирован в следующем разделе настоящей статьи.

## Цифровизация и взаимосвязь контуров управления на примере энергетического предприятия

Как было упомянуто выше, центральным элементом любого современного контура управления является информационно-управляющая система, берущая на себя функции исполнения алгоритмов решения управленческой задачи, а также функции сбора и структуризации исходных данных, необходимых для реализации расчетных схем указанных алгоритмов. Специфика задач конкретной производственной отрасли определяет формализацию и методы решения каждой локальной задачи. В на-

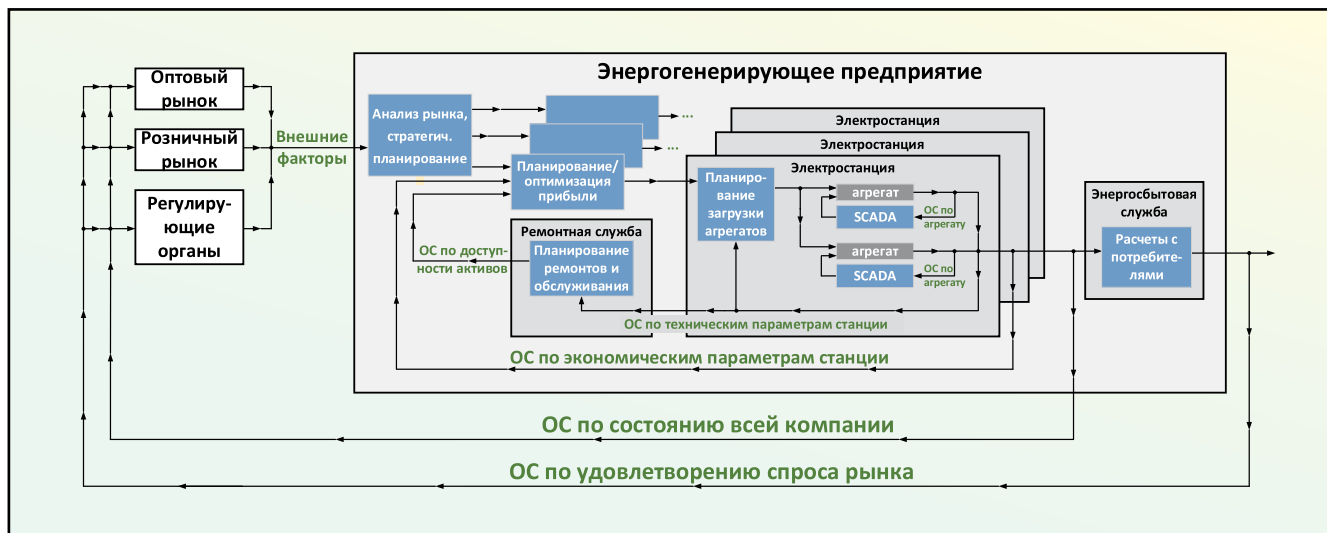


Рис. 3. Основные контуры управления энергогенерирующего предприятия (обратная связь обозначена аббревиатурой ОС)

стоящей работе в качестве практического примера разберем функционирование предприятия энергетической отрасли, для которого разложение задач управления по контурам обратной связи, изображенное на рис. 2, отображается в виде блок-схемы, приведенной на рис. 3.

Заметим, что каждый контур содержит блок принятия управленческих решений (блоки синего цвета на рис. 3), алгоритмическое наполнение которого формируется исходя из постановки и формализации задачи, решаемой на данном уровне иерархии. Количество контуров управления определяется требуемой детализацией процессов управления. В рассматриваемой постановке, представленной на рис. 3, присутствует шесть уровней управления, каждому из которых соответствует свой контур обратной связи. Однако при необходимости количество уровней и соответствующих им контуров может быть увеличено с целью более детального анализа какого-либо подпроцесса (например, подпроцесс планирования ремонтов содержит вложенные задачи по оптимизации логистики доставки материалов и запасных частей) либо уменьшено для случаев более общего, например макроэкономического, анализа. Для определения «цифровой» составляющей каждого контура, изображенного на рис. 3, раскроем суть решаемой им задачи управления, а также укажем, в каких типовых информационных системах осуществляется его непосредственная реализация:

- ▶ **Контур “ОС по агрегату”.** В данном контуре оперативное управление электрогенерирующим оборудованием происходит на производственном уровне. Контур реализует классическое автоматическое регулирование режимов агрегатов, которое осуществляется оператором с помощью систем класса АСУ ТП или SCADA.
- ▶ **Контур “ОС по техническим параметрам станции”.** Здесь осуществляется мониторинг технического состояния агрегатов станции, а также принятие решения о необходимости его ремонта и обслуживания в зависимости от результатов анализа текущего (или прогнозного) состояния. Задачи мониторинга, анализа и прогнозирования состояния оборудования консолидируются в так называемых системах предиктив-

ной диагностики. Задачи, связанные с реализацией и коррекцией стратегии обслуживания, выполняются в системах класса ТОиР (системах автоматизации технического обслуживания и ремонта).

- ▶ **Контур “ОС по доступности активов”.** Данный контур предназначен для учета фактического состояния оборудования при планировании основного производственного процесса. Задачи контура распределены между системами планирования и системами класса ТОиР и EAM.
- ▶ **Контур “ОС по экономическим параметрам станции”.** В рамках контура информация по фактическим экономическим параметрам производства используется в качестве граничных и начальных условий в системах стратегического и оперативного планирования предприятия. В частности, данная информация является исходной для задачи оптимизации прибыли, решение которой распределено между системой ERP (на стратегическом уровне) и системой выбора и оптимизации режимов генерирующего оборудования.
- ▶ **Контур “ОС по состоянию всей компании”.** На данном уровне иерархии компания рассматривается как неделимая сущность – участник экономического процесса в отрасли. Взаимодействие с рынками происходит через различные системы трейдинга (на оптовом рынке, на рынке на сутки вперед, на балансирующем рынке и т.п. [4]). Взаимодействие с регулирующими органами осуществляется посредством систем отчетности (например, ГИС ТЭК, системы налогового мониторинга и т.п.). Следует заметить, что не все элементы контура находятся под контролем предприятия, в частности, системы отчетности и оператор рынка являются внешними независимыми сущностями.
- ▶ **Контур “ОС по удовлетворению спроса рынка”.** Данная обратная связь также не полностью контролируется предприятием. Единственным подконтрольным элементом информационной цепи являются системы взаимоотношения предприятия с клиентами (CRM, биллинг), а также всевозможные приложения анализа и прогнозирования потребления и цен на

рынке электроэнергии. Остальные элементы являются глобальными и регулируются либо государством, либо рыночными механизмами.

## Координация задач управления и синтез единого цифрового контура энергогенерирующего предприятия

Существенным недостатком подхода многоконтурного управления, описанного выше, является изолированность локальных задач управления друг от друга. Фундаментальные положения теории оптимизации показывают, что совокупность обнаруженных оптимумов локальных задач не является эквивалентом глобальной оптимальной точки. Координация смежных задач управления дает существенный потенциал для дополнительной оптимизации совокупного результата – в частности, данный тезис подтверждается практическими исследованиями авторов в области задач планирования деятельности смежных служб предприятия (например, [5]). В общем виде координация задач управления “соседних” подсистем осуществляется за счет согласования КПЭ (рис. 1), а также итерационного перезапуска вычислительных алгоритмов с учетом взаимных результатов (рис. 4).

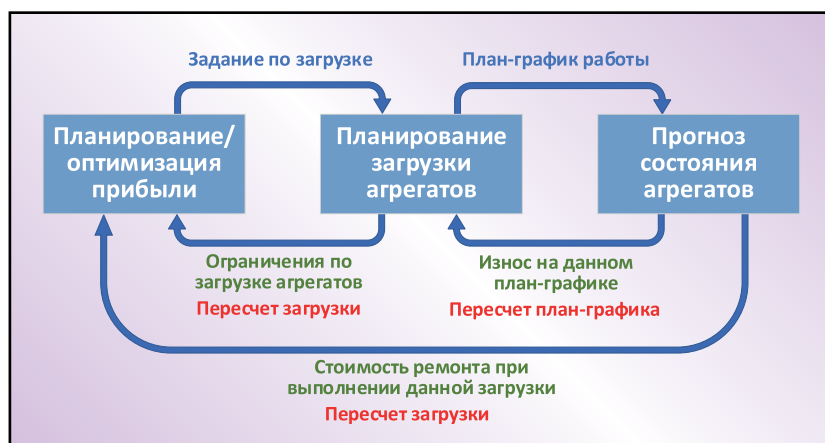


Рис. 4. Итерационный перезапуск вычислительных алгоритмов смежных задач управления с учетом взаимных результатов

Отметим, что координация возможна как в вертикальном направлении между уровнями управления, так и в горизонтальном между смежными системами. Среди потенциальных координационных связей задач управления авторы в настоящий момент рассматривают следующие комбинации:

- ▶ Планирование ремонтов и выработки ЭЭ.
- ▶ Максимизация доходности от выработки ЭЭ (переключение и ведение режимов) и минимизация износа оборудования (повышенный износ при частых переключениях).
- ▶ Прогнозирование потребления (цен) и прогнозирование состояние оборудования.
- ▶ Прогнозирование роста рынка (новые потребители, увеличение потребления старыми потребителями) и стратегия развития активов (увеличение мощности, эффективности, покупка и строительство новых объектов генерации).

- ▶ Прочие комбинации смежных задач управления и координация их КПЭ.

Естественной технической реализацией принципа координации задач управления является обеспечение единого информационного пространства, осуществляющего не только свободный обмен данными между различными подсистемами, но и координированный запуск их расчетных задач. Такие требования логичным образом консолидируются в понятие единой цифровой платформы предприятия, причем понятие платформы в данном контексте связано именно с общим функциональным пространством, а не с монолитным ИТ-ландшафтом. В целом, успешная реализация единого цифрового контура управления предприятием требует консолидации усилий специалистов предметной области (в части формулировки постановок задач), математиков-алгоритмистов (в части формирования методов решения сформулированных задач), программистов (в части непосредственной реализации разработанных методов) и ИТ-специалистов (в части интеграции специализированных решений в единый информационный ландшафт). В настоящее время, по мнению авторов, не существует универсального коробочного решения данной проблемы. Ни одна из существующих платформ не обеспечивает полного набора необходимых средств, что понуждает производителей ПО, научные организации и бизнес к более тесному сотрудничеству в формате конкретных проектов. При этом в процессе решения конкретной задачи целесообразно руководствоваться принципом свободного вендорнезависимого выбора ПО с добавлением глубоких требований по гибкости его интеграции со смежными системами.

**Иван Некрасов, к.т.н., с.н.с.,  
Лаборатория прикладного  
моделирования, РЭУ им. Г. В. Плеханова  
Томас Шульц, chanel manager,  
компания GE Digital**

## Литература

1. Сафина Д. М. Управление ключевыми показателями эффективности: учебное пособие. – Казань: Казанский Университет, 2018 г. – 123 с. (с. 20-22)
2. Солодовников В. В., Плотников В. Н., Яковлев А. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования: Учебное пособие для приборостроительных специальностей ВУЗов. – Москва: Машиностроение, 1985 г. – 535 с.
3. Остром К., Виттенмарк Б. Системы управления с ЭВМ. – Москва: Мир, 1987 г. – 480 с.
4. Основы функционирования рынков электроэнергии: Учебно-методическое пособие. Под ред. к.э.н. Л. В. Ширяевой. – Москва: ЗАО “УК КЭУ”, 2009 г. – 404 с.
5. Nekrasov I. Coordinated Production and Maintenance Scheduling for an Industrial Enterprise. // Материалы XII международной конференции “Управление развитием крупномасштабных систем MLSD’2019”. – Под общей ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. 2019 г. – Москва: ИПУ РАН, 2019 г. – с. 934-935





# ТЕХНОЛИНК

Каждому решению – интеллектуальный ресурс



- Автоматизация производства
- АСУТП, АСАК, MES, LIMS
- Цифровизация, IIoT



Россия, г. Санкт-Петербург  
ул. Трефолева, д. 2БН  
тел/факс: +7 (812) 331 58 30

Россия, г. Санкт-Петербург  
Московский пр., д. 6  
тел/факс: +7 (812) 331 58 30

Россия, Свердловская обл.  
г. Ревда, ул. Клубная, д. 8  
тел/факс: +7 (343) 204 74 78

[www.technolink.spb.ru](http://www.technolink.spb.ru)