

УДК 519.179

# ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ АСУТП ТЭС НА БАЗЕ ПТК ПО КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Э.К. Аракелян, А.В. Андрияшин, С.В. Мезин, А.А. Косой,  
Ю.Ю. Ягупова, Д.М. Красненко**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Edik\_arakelyan@inbox.ru*

**Ф.Ф. Пащенко**

*Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова  
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65*

**Ключевые слова:** эффективность, классификация, критерии, оценка, уровень интеллектуальности, оптимизационные задачи, стационарный уровень управления, обеспечение, надежность, экономичность.

**Аннотация:** Рассматривается возможность оценки и повышения уровня интеллектуальности АСУТП современной ТЭС по критериям эффективности. Дана классификация составляющих общей эффективности применительно к стационарному уровню ТЭС. Определены группы оптимизационных задач, реализация которых в совокупности может обеспечить высокую эффективность производства тепла и электроэнергии. Приведена методика оценки и краткие результаты прироста уровня интеллектуальности при решении рассматриваемых оптимизационных задач. Показано, что решение поставленных оптимизационных задач блочного и стационарного уровня управления обеспечит высокие показатели по экономичности и надежности в краткосрочном и долгосрочном аспектах времени и значительно повысит уровень интеллектуальности АСУТП на базе современных программно-технических комплексов энергоблоков и ТЭС в целом.

В современных рыночных условиях требуется оперативная, ежедневная и еженедельная оптимизация технологических процессов путем обеспечения необходимого качества регулирования и управления с целью выхода на рынок электроэнергии и мощности с оптимальными параметрами (например, с минимальной топливной составляющей в себестоимости выработки и отпуска электроэнергии). В условиях рынка получение максимально возможной маржинальной прибыли для каждой станции стало необходимым условием выживания и возможности дальнейшего развития. При этом, при принятии управляющих решений особое внимание уделяется применению современных информационных и цифровых технологий [1-3].

В этих условиях при выборе состава оптимизационных задач в рамках интеллектуализации АСУТП для достижения поставленной цели значительного повышения эффективности производства энергии на ТЭС нужно исходить из требований, предъявляемых энергосистемой к эксплуатации оборудования по комплексу показателей, совокупность которых определяет эффективность производства тепла и электроэнергии на ТЭС.

Предлагается комплексный подход к понятию «эффективность»:

- энергетическая эффективность – показатель агрегатного и блочного уровня, определяющий степень совершенства технологического процесса (КПД), либо производства энергии (удельный расход топлива на выработку тепла и электроэнергии);
- экономическая эффективность – показатель эффективности производства энергии с учетом энергетической эффективности и дополнительных затрат, связанных с производственным циклом (себестоимость производства электроэнергии и тепла);
- технико-экономическая эффективность – показатель, применяемый для оценки экономической или технической целесообразности разработки и внедрения определенного программного продукта, мероприятия или установки;
- надежность – показатель технической эффективности, отражающий степень готовности рассматриваемого устройства (котла, турбины, блока в целом) к выполнению определенных функций и косвенно влияющий на показатели экономической эффективности;
- маневренность – обобщенный показатель, отражающий способность и эффективность участия рассматриваемой установки (котел, турбина, блок) в процессе регулирования нагрузки и напрямую влияющий на показатели надежности и экономичности. В понятие маневренность входят такие эксплуатационные показатели, как: регулировочный диапазон, мобильность, возможность останова и последующего пуска, длительность этих операций и т.д.

Традиционный перечень функций и задач АСУТП является необходимым, но не достаточным условием эффективности использования информации о технологическом процессе. Он предполагает решение традиционных задач, позволяющих реализовать отлаженный механизм выработки электроэнергии и мощности, а потому не нуждается в совершенствовании без серьезных причин. Однако, использование только данного подхода в сфере автоматизации ТЭС не позволяет перейти на следующий уровень автоматизации. Реализуемый подход к функциям и задачам АСУТП подошел к своему пределу, когда ощутимого улучшения качества управления станцией в целом не происходит при сравнении конкурирующих вариантов реализации, что является серьезной причиной отсутствия стремления к изучению современных проблем энергетической отрасли.

Интеллектуальная АСУТП должна решать и статические, и динамические задачи. К сожалению, текущая ситуация определяется статическими задачами расчета. Именно по этой причине ограничивается решение перспективных задач за счет широких возможностей ПТК и откладывается необходимость применения новых подходов в использовании АСУТП. По мере обновления технических и программных средств нам все же придется столкнуться с необходимостью использования оптимальной структуры функциональных задач Интеллектуальной АСУТП, расширяя возможности ПТК для решения оптимизационных задач на всех иерархических уровнях управления. Из статической функции необходимо получить динамическую функцию с ее собственной «силой», задачи которой составляют оптимальную структуру обязательных иерархически построенных по своей значимости функциональных задач Интеллектуальной АСУТП электростанции. Для достижения указанной цели – повышения эффективности производства тепла и электроэнергии на ТЭС в состав предлагаемых оптимизационных задач должны быть включены те основные задачи, которые при их реализации в полном объеме комплексно смогут решать проблему эффективности по приведенным выше показателям в совокупности [3].

Первый этап на пути создания Интеллектуальной АСУТП – это разработка методологии оценки оптимальной структуры функциональных задач АСУТП тепловых электрических станций через оценку (мета-)моделей задач станционного уровня в

определенной степени значимости по технико-экономическому эффекту, который они дают по сравнению с затратами, которые необходимы на их внедрение. Такая оценка произведена в ранее проведенных сотрудниками кафедры АСУТП НИУ «МЭИ» исследованиях по технико-экономической эффективности комплекса оптимизационных задач станционного и блочного уровней [4]. Базируясь на результатах этих исследований, ниже приводится перечень оптимизационных задач, реализация которых обеспечит достижение выше поставленной цели. При этом предполагается, что поставлены и решены проблемы, связанные с информационным и техническим обеспечением группового управления технологическими процессами станционного уровня. Общие подходы к их решению приведены в [5].

1. Комплекс оптимизационных задач, обеспечивающих оптимальную стратегию работы электростанции в различных секторах рынка электроэнергетики и мощности, в том числе:

- выбор состава включенного генерирующего оборудования на оперативные сутки;
- оптимальное распределение тепловой и электрической нагрузок на этапах подготовки выхода на рынок «на сутки вперед» и при выполнении диспетчерского графика при заданном составе генерирующего оборудования в многокритериальной постановке задачи с учетом факторов экономичности, надежности и экологии;
- динамическая задача выбора оптимальной последовательности разгрузки/нагрузки энергоблоков при их останове с последующим пуском, либо работающих на пониженных нагрузках в пределах регулировочного диапазона с учетом ограничений на скорости разгрузки/нагрузки и учета дополнительных затрат топлива на нестационарность в процессах разгрузки и нагрузки;
- оперативная дооптимизация режимов работы оборудования при участии на балансирующем рынке.

Решение этого комплекса задач обеспечит: оперативную энергетическую и экономическую эффективность производства тепла и электроэнергии; допустимые показатели оперативной надежности и экологичности оборудования; показатели маневренности (при выборе состава генерирующего оборудования и решении динамической задачи).

2. Расчет и анализ технико-экономических показателей оборудования блочного уровня и станции в целом на базе сбалансированных оценок результатов измерения технологических параметров.

Решение данной задачи позволит производить оперативное выявление отклонений и корректировку режимных параметров и регламентируемых паспортных показателей оборудования; достичь экономической эффективности работы энергоблоков и станции в целом в долгосрочном аспекте времени путем выявления отклонений текущих энергетических показателей от нормативных и выдачи рекомендаций по их устранению.

3. Выбор оптимальной стратегии технического и ремонтного обслуживания по времени и объему работ с учетом текущего и прогнозного технического и экономического состояния оборудования с применением их динамических цифровых моделей.

Решение данной задачи с применением динамических цифровых моделей требует разработки методических подходов к составлению таких моделей и алгоритмов их применения. Результаты решения такой задачи обеспечат: надежную и экономичную эксплуатацию оборудования электростанции в

долгосрочном аспекте времени; сокращение материальных и финансовых затрат на техническое обслуживание и ремонт; продлит длительность жизненного цикла оборудования.

Оценку влияния постановки и реализации предлагаемых оптимизационных задач на уровень интеллектуальности рассмотрим применительно к стационарному уровню управления по величине «коэффициента интеллектуальности (КИ)» [5, 6], суть которого заключается в доле задач и функций АСУТП  $m_{iИ}$ , выполняемых с применением интеллектуальных технологий в общем объеме фактически выполняемых задач и функций АСУТП  $m_{iФ}$  на рассматриваемом уровне управления.

$$(1) \quad K_i = \frac{m_{iИ}}{m_{iФ}},$$

Коэффициент интеллектуальности АСУТП рассчитывается для каждого  $i$ -го иерархического уровня управления по выражению:

$$(2) \quad K_i^И = \sum_{j=1}^{j=3} (\beta_{ij0} K_{j0}^И + \beta_{ij} \Delta K_j^И),$$

где  $\beta_{j0}, \beta_j$  – весовые коэффициенты, отражающие относительную значимость  $j$ -й группы задач в совокупности ( $j = 1, 2, 3$ ), при этом  $\beta_{j0} + \beta_j = 1$ ;

$K_{ij0}^И$  – оценка исходного коэффициента интеллектуальности  $j$ -й группы  $i$ -го уровня управления, рассчитываемой по выражению

$$(3) \quad K_{ij0}^И = \sum_{m=1}^{m=M_i} \varphi_{mi} \phi_{mi} / \sum_{m=1}^{m=N} \varphi_{mi},$$

В (2)  $\Delta K_{ij}^И$  – повышение значения коэффициента интеллектуальности  $j$ -й группы  $i$ -го уровня управления, рассчитываемый по выражению

$$(4) \quad \Delta K_{ij}^И = \sum_{l=1}^{l=L_i} \delta_{li} \phi_{li} / \sum_{l=1}^{l=V} \delta_{li}.$$

Здесь  $m = 1, 2, \dots, M_i$ ,  $l = 1, 2, \dots, L$  — число функций (задач) в  $j$ -й группе  $i$ -го уровня управления АСУТП в исходном и в модернизированном вариантах, в которых применяются интеллектуальные технологии;  $\phi_{mi}, \phi_{li}$  – условный коэффициент «внутренней» интеллектуальности при реализации  $m$ -й и  $l$ -й функций;  $\varphi_{mi}, \delta_{li}$  – весовые коэффициенты значимости для данной конкретной функции, определяется аналитическим путем или задается экспертом, при этом как было указано выше:

$$(5) \quad \sum_{m=1}^{m=N_i} \varphi_{mi} = 1,0; \sum_{l=1}^{l=V} \delta_{li} = 1,0.$$

Весовые коэффициенты в (2) задаются экспертом-специалистом и зависят от относительной технико-экономической эффективности оптимизационных задач в каждой группе по отношению к общей экономической эффективности решаемых задач на рассматриваемом уровне управления.

Тестовые расчеты, проведенные применительно к виртуальной ТЭС с парогазовыми энергоблоками ПГУ-450 показали, что реализация оптимизационных задач на стационарном уровне управления на базе интеллектуальных технологий при принятых условиях повышает коэффициент интеллектуальности АСУ ТП стационарного уровня с исходного 0,385 до 0,953.

Заметим, что приведенные в расчетах оценочные значения коэффициентов внутренней интеллектуальности и значимости носят иллюстративный характер и для их уточнения требуется ряд дополнительных исследований.

Анализируя результаты расчетов по станции в целом, можно сделать следующие выводы [7, 8]:

- исходный уровень интеллектуальности современной АСУТП на базе ПТК находится на уровне 0,38-0,39 от максимально возможного (при принятых к расчету данных) уровня интеллектуальности;

- реализация комплекса оптимизационных задач агрегатного, блочного и станционного уровней управления технологическими процессами ТЭС может обеспечить экономически целесообразную степень интеллектуальности АСУТП на уровне 45-55% от максимального возможного уровня;
- при интеллектуализации АСУТП необходимо обратить особое внимание на низкие коэффициенты интеллектуальности: по первой группе функций – системы контроля автоматического регулирования; по второй группе – оптимизационные задачи блочного и станционного уровней управления.

При этом по предварительной оценке указанный подход при применении интеллектуальных технологий может обеспечить: повышение экономичности работы электростанций за счет оптимизации режимов работы оборудования в пределах 2%; снижение затрат и потерь топлива в остановочно-пусковых режимах на 20-30 %; повышение маневренности электростанций за счет сокращения времени пуска турбин на 40-50 %; повышение не менее чем на 40% достоверности оценки технического состояния оборудования; снижение аварийных остановов до 15 %; повышение ресурса энергетического оборудования не менее чем на 10 %. Отметим, что авторы хорошо понимают, что предлагаемая упрощенная методика оценки степени интеллектуальности и ее повышения на базе внедрения интеллектуальных технологий при управлении технологическими процессами содержит много условностей и не охватывает все разнообразие функций АСУ ТП. Вместе с тем, приведенные расчеты убедительно показывают возможные пути модернизации АСУТП с целью их дальнейшей интеллектуализации, при этом особенное внимание нужно уделить постановке и решению оптимизационных задач блочного и станционного уровней управления.

## Список литературы

1. Биленко В.А. АСУТП как основа существенного повышения уровня автоматизации // Теплоэнергетика. 2007. № 10. С. 14-18.
2. Тверской Ю.С., Таламанов С.А. Особенности и проблемы современного этапа развития технологии создания АСУТП тепловых электростанций // Теплоэнергетика. 2010. № 10. С. 37-44.
3. Аракелян Э.К., Васильев Е.Д., Хуршудян С.Р. Проблемы современных АСУ ТП на базе ПТК и возможный путь их решения // Вестник МЭИ. 2014. № 1. С. 15-20.
4. Аракелян Э.К., Панько М.А., Асланян А.Ш. Методические положения оценки технико-экономической эффективности модернизации АСУ ТП электростанций // Теплоэнергетика. 2010. № 10. С. 45-49.
5. Косой А.А. Выбор оптимальной структуры интеллектуальной АСУ ТП на базе ПТК. Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук/ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ». Москва, 2021, 24 с.
6. Аракелян Э.К., Косой А.А., Андрияшин А.В., Ягупова Ю.Ю., Леонов М.С., Пащенко Ф.Ф. Пути повышения интеллектуальности алгоритмов оптимального распределения нагрузки на ТЭЦ со сложным составом оборудования // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020: труды тринадцатой международной конференции. Москва, 28-30 сентября 2020 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2020. С. 904-910.
7. Arakelyan E.K., Andryushin A.V., Pashchenko F.F., Mezin S.V., Kosoy A.A. Methodological provisions of the assessment of the increase degree in the intelligence of TPP ACS TP on the basis of modern PTC // Proceedings of the 11th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT), Vol. 170. P. 941-946
8. Аракелян Э.К., Косой А.А. Управление эффективностью производства энергии – как основа повышения интеллектуальности АСУТП современных ТЭС // Новое в российской электроэнергетике. 2020. № 12. С. 6-12.