

## ЗАДАЧА РАСЧЕТА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ АЭС «БУШЕР-1»

Е.Ф. Жарко

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65

E-mail: [zharko@ipu.ru](mailto:zharko@ipu.ru)

В докладе рассматривается задача расчета технико-экономических показателей и ее место в рамках прикладного программного обеспечения системы верхнего блочного уровня автоматизированной системы управления технологическими процессами атомной электростанции «Бушер-1».

**THE PROBLEM OF CALCULATING TECHNICAL AND ECONOMICAL INDEXES FOR THE “BUSHEHR-1” NPP**  
/ E.Ph. Zharko (Institute of Control Sciences RAS, Profsoyuznaya str., 65, Moscow, 117997, Russia). The paper presents the problem of calculating technical and economical indexes and its place within the application software of the top-level system (unit) of the process control system of the “Bushehr-1” nuclear power plant.

## 1. Введение

В настоящее время четко наметилась тенденция решения проблемы управления атомными электростанциями (АЭС) в постановке, обуславливающей необходимость реализации на верхнем уровне АСУ ТП АЭС системы, обеспечивающей мощную информационную поддержку деятельности операторов. Собственно информационная поддержка заключается в следующем:

- обеспечение возможности проведения быстрого анализа сложившейся ситуации, на основании которого оператор принимает решение по разному управлению;
- инициализация (в виде совета) действий, необходимых для правильного ведения технологического процесса;
- контроль действий самого оператора.

В настоящее время Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова ведет разработку системы верхнего блочного уровня (СВБУ) АСУ ТП АЭС «Бушер-1» [1]. СВБУ – система автоматического сбора, хранения, представления информации о текущем состоянии технологических объектов управления (ТОУ) и автоматизированного дистанционного формирования команд управления механизмами ТОУ алгоритмами АСУ ТП.

Цель создания СВБУ – обеспечение централизации контроля и управления технологическим процессом для:

- экономически эффективного производства электроэнергии;
- соблюдения эксплуатационных пределов;
- соблюдения пределов и условий безопасной эксплуатации оборудования;
- улучшения характеристик технологических процессов и работы технологического оборудования;
- уменьшения трудоемкости эксплуатации оборудования, улучшения ремонтпригодности технических средств, снижения численности обслуживаемого персонала, улучшения потребительских характеристик элементов АСУ ТП;

- улучшения условий труда персонала и сокращения числа и уменьшения последствий от ошибочных действий оператора.

СВБУ представляет собой сложный программно-технический комплекс, поддержанный системой автоматизированного проектирования и настройки, и предназначенный для объединения в единую систему всех подсистем АСУ ТП. СВБУ реализует информационные, управляющее, сервисные и вспомогательные функций АСУ ТП АЭС [2].

Задача расчета технико-экономических показателей (ЗРТЭП) является расчетной программой и входит в состав прикладного программного обеспечения (ППО) СВБУ АСУ ТП АЭС «Бушер-1» [3]. В связи с тем, что не существует двух одинаковых энергоблоков АЭС, возникает задача создания программного обеспечения ориентированного только на специфику конкретного блока АЭС как в части технических средств, так и исходя имеющихся точек контроля технологических параметров.

Расчет технико-экономических показателей (ТЭП) является технологической основой автоматизированного получения информации, характеризующей тепловую экономичность энергоблока и оборудования, входящего в его состав. При этом под тепловой экономичностью понимается эффективность использования тепла, выделенного в реакторе ядерным топливом для выработки электроэнергии. Целью расчета ТЭП является предоставление информации для наиболее экономичного использования оборудования, прогнозирования его обслуживания и ремонта, а также для составления отчетности об экономичности энергоблока. С помощью технико-экономических показателей, их технико-экономического анализа, можно выявить факторы, которые влияют на величину рентабельности, прибыли, себестоимости, определить пути улучшения работы электростанции в целом.

## 2. Структура СВБУ

СВБУ представляет собой распределенную вычислительную систему, основными элементами которой являются автоматизированные рабочие места, серверы, локальная вычислительная сеть (ЛВС).

Взаимодействие СВБУ со смежными программно-техническими комплексами (ПТК) АСУ ТП осуществляется через шлюзы, подключенные к ЛВС СВБУ, в которых на программном уровне обеспечивается информационная совместимость соответствующих ПТК с СВБУ.

Структурная схема СВБУ представлена на рис. 1, где обозначено:

- SC – общеблочный сервер;
- SRp, SRs – основной и резервный серверы реакторного отделения (РО);
- STp, STs – основной и резервный серверы турбинного отделения (ТО);
- SSp, SSs – основной и резервный серверы системы неоперативного контура управления (СНКУ);
- SWCp, SWCs – основной и резервный общеблочные коммутаторы;
- SWRp, SWRs – основной и резервный коммутаторы сети реакторного отделения;
- SWTp, SWTs – основной и резервный коммутаторы турбинного отделения;
- SWSp, SWSs – основной и резервный коммутаторы сети систем неоперативного контура управления;
- SWSS1p, SWSS1s – основной и резервный коммутаторы сети систем безопасности первого комплекта;
- SWSS2p, SWSS2s – основной и резервный коммутаторы сети систем безопасности второго комплекта;
- G – шлюзовые ЭВМ смежных подсистем;
- H – концентраторы.

К смежным подсистемам относятся:



- система управления и защиты реакторной установки;
- подсистема группового и индивидуального управления органов регулирования реакторной установки;
- управляющая система безопасности по технологическим параметрам;
- система радиационного контроля;
- система контроля, управления и диагностики;
- система автоматической противопожарной защиты;
- система контроля и управления реакторного отделения;
- система контроля и управления оборудованием специальной водоочистки (СКУ СВО);
- система контроля и управления вентиляционным оборудованием;
- система контроля и управления турбинного отделения;
- система контроля и управления турбинной установкой;
- система контроля и управления вспомогательным оборудованием турбогенератора.

Настройка СВБУ, распределение задач по элементам СВБУ, формирование рабочей базы данных элементов СВБУ и шлюзов осуществляется на этапе рабочего проекта средствами САПР «Конфигуратор».

В соответствии с разбиением на посты управления СВБУ включает в себя следующие функциональные подсистемы:

- ИНС – информационную подсистему супервизорного управления блочного пульта управления (БПУ);
- ИУРО – информационно-управляющую подсистему РО оперативного контура управления БПУ;
- ИСБ – информационную подсистему системы безопасности (СБ) оперативного контура управления БПУ/рабочего пульта управления (РПУ);
- ИУТО – информационно-управляющую подсистему ТО оперативного контура управления БПУ;
- ИУН – информационно-управляющую подсистему неоперативного контура управления БПУ;
- ИУРПУ – информационно-управляющую подсистему НЭ РПУ;
- АТПС – подсистему администрирования технических и программных средств СВБУ;
- ПИБ – подсистему информационной безопасности.

Взаимодействие между подсистемами осуществляется средствами единой вычислительной сети СВБУ с использованием распределенных вычислительных ресурсов. При этом ряд подсистем имеет общую серверную часть.

Каждая функциональная подсистема СВБУ включает в себя следующие элементы ПТК:

- серверы;
- рабочие станции, посредством которых оперативный персонал получает доступ к измеряемым и расчетным параметрам и осуществляет ввод управляющих воздействий для дистанционного управления;
- сетевое оборудование и кабельные линии.

### 3. Структура автоматизированных рабочих мест СВБУ

СВБУ обслуживает следующие посты управления, обустроенные автоматизированными рабочими местами:

- блочный пульт управления (БПУ);
- резервный пульт управления (РПУ);
- цех тепловой автоматики и измерений (ТАИ);
- локальный кризисный центр (ЛКЦ).

Автоматизированные рабочие места (АРМ) реализуются на основе одной или нескольких рабочих станций, подключаемых в зависимости от их основного функционального назначения к той или иной части ЛВС СВБУ. При подключении к ЛВС рабочие станции образуют кластеры, представляющие собой объединение через концентратор нескольких рабочих станций в сегмент ЛВС. Рекомендованное количество рабочих станций в пределах кластера – до четырех.

На пульте оператора реакторного отделения БПУ размещается АРМ сменного инженера по управлению реактором (СИУР), включающее в себя три двухдисплейные рабочие станции (РС), предназначенные для контроля и управления подсистемами нормальной эксплуатации реакторного отделения, контроля состояния и параметров систем безопасности, отображения информации от системы контроля, управления и диагностики (СКУД) и КЭ система управления и защиты реакторной установки (СУЗ). Две дополнительные однодисплейные РС АРМ ZK1 и АРМ ZK2 располагаются рядом с панелями безопасности.

На пульте оператора турбинного отделения БПУ размещается автоматизированное рабочее место СИУТа, включающее в себя две двухдисплейные РС, предназначенные для контроля и управления подсистемами ТО.

В зоне неоперативного управления БПУ размещаются:

- двухдисплейная РС для контроля и управления системами СВО (АРМ-СВО);
- двухдисплейная РС для контроля и управления вспомогательным оборудованием РО и ТО (АРМ-РО/ТО);
- двухдисплейная РС для контроля и управления системами вентиляции (АРМ-СВ);
- двухдисплейная РС для контроля за системами пожарной сигнализации на энергоблоке и системами управления пожаротушением и дымоудалением в помещениях нормальной эксплуатации (АРМ-П);
- двухдисплейная РС для отображения информации и управления систем радиационного контроля (АРМ-РК).

На рабочем месте начальника смены блока БПУ расположена двухдисплейная РС для контроля за всеми параметрами, поступающими в СВБУ (АРМ НСБ), вывода документов на печать. АРМ НСБ имеет возможность управления в режиме поддержки АРМ СИУРа и АРМ сменного инженера по управлению турбиной (СИУТ). На пульте РПУ размещается двухдисплейная РС, образующая АРМ для контроля и управления оборудованием нормальной эксплуатации (АРМ-СНЭ-РПУ) и контроля СБ.

В цехе ТАИ расположен АРМ начальника смены (НС) цеха ТАИ, оснащенный одной двухдисплейной РС для выполнения функций по контролю и управлению СВБУ и АСУ ТП (АРМ-НС-ТАИ) и одной двухдисплейной РС инженера по эксплуатации ПО (АРМ ИЭПО), предназначенной для контроля и проверки состояния системного и прикладного программного обеспечения СВБУ.

Две двухдисплейные РС предусматриваются для организации локального кризисного центра (АРМ ЛКЦ), предназначенного для контроля за всеми параметрами поступающими в СВБУ.

Общее количество РС – восемнадцать, из них две однодисплейные.

Принятые технические решения обеспечивают возможность увеличения количества РС, как в пределах кластеров, так и путем увеличения числа кластеров.

Структура АРМ построена таким образом, что единичный отказ любой РС СВБУ в рамках одного рабочего места не приводит к потере возможности контроля и управления. На рабочих местах операторов-технологов РО и ТО для этой цели размещены не менее трех РС, которые способны полностью резервировать функции друг друга.

При отказе одной из них оператору необходимо осуществить перегруппировку информации на оставшихся в работе РС.

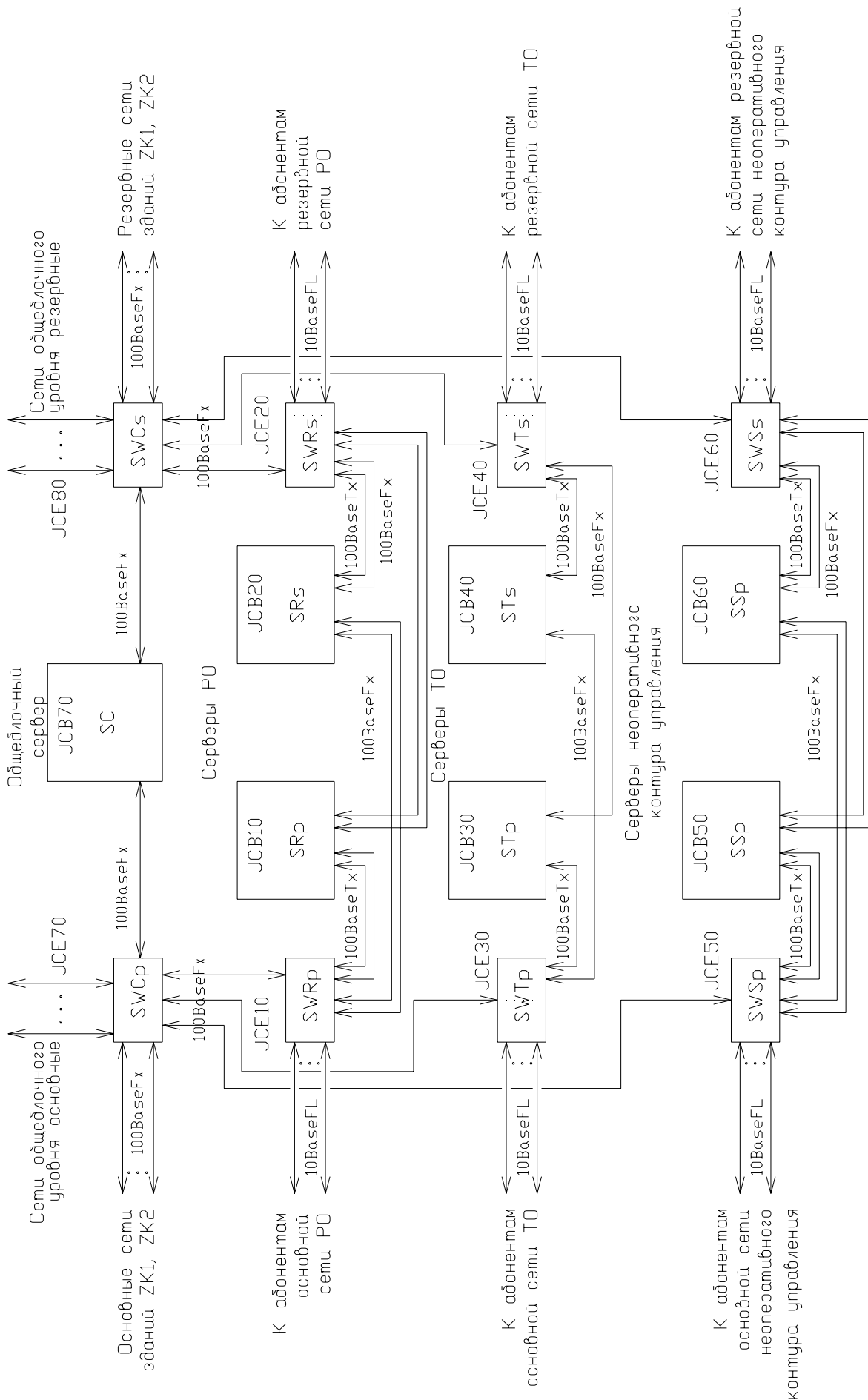


Рис. 2. Структурная схема серверной части СВБУ.

Структурная схема серверной части СВБУ

Принцип взаимозаменяемости присутствует также для РС неоперативного контура управления, подсистемы АТПС и ЛКЦ. При отказе одной из РС оператору необходимо осуществить запуск ПО на резервной РС.

Сохранение функций контроля и управления АСУ ТП достигается тем, что на АРМ ИЭПО постоянно функционирует копия ПО, работающая на АРМ НС ТАИ. В случае отказа РС начальника смены ЦТАИ, ему предписано использовать РС инженера по эксплуатации ПО вплоть до завершения ремонта.

Состояние всех РС контролируется и отображается на АРМ-ИЭПО. Полное тестирование всех РС осуществляется в период планово-предупредительного ремонта.

Структурная схема серверной части СВБУ представлена на рис. 2, где обозначено:

- JCB10, JCB20 – основной и резервные серверы РО;
- JCB30, JCB40 – основной и резервные серверы ТО;
- JCB50, JCB60 – основной и резервные серверы систем неоперативного контура управления;
- JCB70 – общеблочный сервер;
- JCE10, JCE20 – основной и резервные коммутаторы локальной вычислительной сети РО;
- JCE30, JCE40 – основной и резервный коммутаторы локальной вычислительной сети ТО;
- JCE50, JCE60 – основной и резервный коммутаторы ЛВС неоперативного контура управления;
- JCE70, JCE80 – основной и резервный коммутаторы общеблочной вычислительной сети.

Серверная часть СВБУ включает в свой состав семь одинаковых высокопроизводительных вычислительных машин, распределенных по основным функциональным подсистемам АСУ ТП и подразделяющихся на три группы по статусу.

В первую группу входят три сервера, которым изначально присваивается статус основных при пуске системы. Один сервер используется для приема и обработки информации по технологическим подсистемам реакторного отделения, второй – турбинного, третий – систем неоперативного контура управления, а именно СКУ СВО, САППЗ, СКУВ, СРК.

Три сервера второй группы изначально имеют статус резервных и резервируют по функциям соответствующие основные серверы.

В третью группу входит один общеблочный сервер, который имеет статус дополнительного. Данный сервер введен в систему с целью ведения обобщенного архива, который периодически переносится в долговременный архив на основе магнитооптической библиотеки. Перезапись в долговременный архив, доступ к данным долговременного архива осуществляется под управлением общеблочного сервера. Кроме этого общеблочный сервер является основным источником единого времени для систем АСУ ТП.

Серверы первой и третьей групп размещаются в непосредственной близости от соответствующих коммутаторов основной сети. Серверы второй группы размещаются в непосредственной близости от соответствующих коммутаторов резервной сети в отдельном помещении.

РС АРМ-НС-ТАИ выполняет функцию сервера для задач контроля состояния оборудования АСУ ТП, т.е. является сервером для данных о состоянии оборудования АСУ ТП, генерируемых в шлюзах и технических средствах СВБУ. При этом резервным сервером, выполняющим данные функции, является РС АРМ ИЭПО.

Для ведения расчетов технико-экономических показателей (ТЭП), обработки информации, поступающей от подсистем СКВ и СКТ смежной подсистемы СКУД, а также для обеспечения дополнительных (резервных) вычислительных ресурсов в качестве серверов РО и СНКУ применяются двухмашинные вычислительные устройства, представляющие собой два независимых процессорных модуля, объединенных единым конструктивом. При



этом имеет место следующее распределение задач между процессорными модулями, входящими в состав данных серверов:

- процессорный модуль № 1 основного сервера РО – задачи СВБУ;
- процессорный модуль № 2 основного сервера РО – расчет ТЭП;
- процессорный модуль № 1 резервного сервера РО – задачи СВБУ;
- процессорный модуль № 2 резервного сервера РО – резерв вычислительных ресурсов;
- процессорный модуль № 1 основного сервера СНКУ – задачи СВБУ;
- процессорный модуль № 2 основного сервера СНКУ – расчет задач функции комплексного анализа СКУД;
- процессорный модуль № 1 резервного сервера СНКУ – задачи СВБУ;
- процессорный модуль № 2 резервного сервера СНКУ – резерв вычислительных ресурсов.

В нормальном состоянии все серверы должны быть включены, на основных и резервных серверах должно функционировать ППО. Отключение серверов может производиться только для ремонтов и замен.

В процессе работы серверы могут менять свой статус по команде оператора с АРМ-НС-ТАИ. Состояние всех серверов контролируется и отображается на АРМ-НС-ТАИ.

#### **4. Программное обеспечение ЗРТЭП**

Функциональное назначение ПО ТЭП – реализация процессов сбора, предварительной обработки информации, определения и анализа ТЭП за оперативные и отчетные интервалы, отображения и регистрации результатов расчета, подготовки и перенастройки ПО в процессе эксплуатации.

Эксплуатационное назначение ПО ТЭП – обеспечение оперативного и производственно-технического персонала АЭС «Бушер-1» оперативной и отчетной информацией об экономичности эксплуатации технологического оборудования

Комплекс задач ЗРТЭП решается для основного оборудования, влияющего на экономичность энергоблока, а также для оборудования, положение (состояние) которого определяет режим работы энергоблока.

В состав первой группы входит оборудование, состояние которого оценивается на основе результатов работы комплекса задач. К нему относится турбоустановка, включая собственно турбину, подогреватели высокого давления, подогреватели низкого давления, сепаратор пароперегреватель, конденсатор; деаэратор и т.п.

В состав второй группы входит оборудование (насосы, арматура) в зависимости от состояния и положения которого меняется режим работы технологических систем первого и второго контура и соответственно меняется алгоритм расчета ТЭП. К данному оборудованию относятся питательные и конденсатные насосы, арматура на питательных и конденсатных линиях, главные циркуляционные насосы и т.п.

Разработанное программное обеспечение ЗРТЭП по типу решаемых задач подразделяется и состоит из следующих основных частей:

- обеспечение собственно расчета, анализа и представления на автоматизированных рабочих местах результатов расчета ТЭП (функционирует в режиме реального времени);
- обеспечение формирования бланков отчетов (функционирует в интерактивном режиме);
- обеспечение сервисных функций (функционирует в интерактивном режиме).

Расчет ТЭП является технологической основой автоматизированного получения информации, характеризующей тепловую экономичность энергоблока и оборудования, входящего в его состав. При этом под тепловой экономичностью (далее просто «экономичность») понимается эффективность использования тепла, выделенного в реакторе ядерным топливом для выработки электроэнергии.

Целью расчета ТЭП является предоставление информации для наиболее экономичного использования оборудования, прогнозирования его обслуживания и ремонта, а также для составления отчетности об экономичности энергоблока.

Расчет ТЭП осуществляется с помощью увязанного взаимно функционирующего комплекса задач, в который входят:

- предварительные расчеты на оперативном интервале;
- расчет ТЭП на оперативном интервале;
- сортировка информации по различным временным интервалам;
- расчет ТЭП на различных интервалах;
- вывод результатов расчета ТЭП.

Все расчетные технико-экономические показатели делятся на три основных группы:

- фактические показатели, которые характеризуют уровень экономичности оборудования в эксплуатационных условиях;
- нормативные показатели, которые характеризуют расчетный уровень экономичности оборудования;
- показатели изменения экономичности энергоблока вследствие отклонения фактических показателей от нормативных.

Исходным временным интервалом (периодом дискретизации) является отрезок времени между началом двух следующих друг за другом циклов опроса датчиков. Продолжительность периода дискретизации принимается единой с другими функциями АСУ ТП. Для расчета ТЭП наиболее рациональной продолжительностью периода дискретизации является 5-10 с.

Для расчета ТЭП предусмотрены следующие интервалы времени, за которые выполнялся расчет:

- оперативный интервал, принятый равным 15 мин;
- смена – интервал, равный по продолжительности одной рабочей смене;
- сутки – интервал времени, равный 24 ч;
- месяц – интервал, равный числу часов в календарном месяце.

В зависимости от интервала, на котором вычислены показатели, они именуется соответственно оперативными, сменными, суточными и месячными. Кроме этих показателей предусмотрено получение интегральных показателей нарастающим итогом с начала месяца до момента запроса в пределах этого месяца.

Пользователями результатов задачи расчета ТЭП являются СИУР, СИУТ, НСБ.

## 5. Заключение

При разработке программного обеспечения (ПО) ЗРТЭП были использованы единые подходы и решения аналогичные ПО СВБУ в части:

- унификации компонентов математического обеспечения с использованием модульного принципа построения алгоритмов и типизацией алгоритмических модулей;
- унификации функциональной структуры и входящих в нее модулей;
- способов реализации функций системы и единым операторским интерфейсом в системе;
- использования методов структурного программирования, модульного принципа построения программных компонентов и типизации связей между программными модулями на основе единых программных интерфейсов;
- использование единых способов структуризации данных и построения баз данных, управления базами данных, доступа к базам данных и методов связывания машинных программ и данных.

Комплекс задач ЗРТЭП решается для основного оборудования, влияющего на экономичность энергоблока, а также для оборудования, положение (состояние) которого определяет режим работы энергоблока.

ЗРТЭП реализована в объеме организационной структуры, проектных решений средств автоматизации оборудования АЭС «Бушер-1», обеспечивающих с заданной периодичностью поступление информации в СВБУ. Расчет технико-экономических показателей энергоблока АЭС «Бушер-1» выполняется с высокой точностью, количественно выражающейся в точности расчета тепловой мощности реактора:

- при номинальной нагрузке (100%) погрешность расчета тепловой мощности не выше 0,5% от номинальной мощности;
- при нагрузке 30% погрешность расчета тепловой мощности не выше 1,5% от номинальной мощности.

Точность оценки эффективности работы отдельного оборудования определяется точностью штатных каналов измерения технологических параметров. Поскольку данный комплекс задач не связан с обеспечением или контролем безопасности энергоблока, требования по повышенной надежности не предъявляются.

### Список литературы

1. Бывайков М.Е., Жарко Е.Ф., Менгазетдинов Н.Э., Полетыкин А.Г., Прангишвили И.В., Промыслов В.Г. Опыт проектирования и внедрения системы верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС // Автоматика и телемеханика. 2006. № 5. С. 65-79.
2. Бывайков М.Е., Жарко Е.Ф., Менгазетдинов Н.Э., Полетыкин А.Г., Промыслов В.Г. СВБУ – комплексное решение задач верхнего уровня АСУ ТП АЭС // Труды IV Всероссийской конференции «Управление и информационные технологии». Санкт-Петербург, 10-12 октября 2006. С. 243-247.
3. Полетыкин А.Г., Жарко Е.Ф., Зуенкова И.Н., Промыслов В.Г., Бывайков М.Е., Менгазетдинов Н.Э. Программное обеспечение для атомной энергетики // Автоматизация в промышленности. 2006. № 8. С. 52-56.

