

На правах рукописи



Байбулатов Артур Арсенович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ
СОПРОВОЖДЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ
ВЕРХНЕГО УРОВНЯ АСУТП АЭС**

Специальность 05.13.11

«Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук

Научный
руководитель:

Полетыкин Алексей Григорьевич,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией № 31 ИПУ РАН

Официальные
оппоненты:

Соснин Петр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Вычислительная
техника» Ульяновского государственного
технического университета

Зверков Валерий Викторович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Автоматика»
Национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ»

Ведущая организация: **Национальный исследовательский
университет «МЭИ»**

Защита диссертации состоится «15» октября 2018 г. в 11 час. 00 мин.
на заседании диссертационного совета Д 002.226.03 Федерального
государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем
управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук
(ИПУ РАН) по адресу: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПУ РАН и на
официальном сайте: <http://www.ipu.ru>.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью
организации, просьба направлять по указанному адресу ученому
секретарю диссертационного совета Д 002.226.03.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 002.226.03, к.т.н., с.н.с.

Кулинич Александр Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Современные сложные программные системы характеризуются длительным сопровождением. Проекты автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) атомных электростанций (АЭС) требуют постоянного сопровождения на большей части своего жизненного цикла. Одной из центральных проблем при этом является актуализация информационной базы системы верхнего блочного уровня (СВБУ) АСУТП АЭС соответственно изменению проекта.

Информационная база СВБУ отличается большим объемом: десятки тысяч сигналов и сотни мнемосхем. Она неоднородна, является интегрирующей и структурно содержит порядка десяти различных информационных баз систем нижнего уровня АСУТП АЭС.

Для актуализации информационной базы СВБУ необходима информация по аналоговым и информационным сигналам, сигнализации, исполнительным механизмам и т.п. от всех систем нижнего уровня. Разработчики систем нижнего уровня выдают эту информацию (задания) в разное время и, как правило, многократно ее корректируют. Задания на мнемосхемы выдает проектировщик АСУТП АЭС отдельно по каждой системе нижнего уровня и тоже многократно их изменяет. Возникает поток заданий на актуализацию информационной базы СВБУ, а ее жизненный цикл приобретает итерационный характер. Характеристики потока меняются во времени, но сам потоковый характер заданий и итерационный характер жизненного цикла выдвигают свои требования к актуализации информационной базы СВБУ.

Особенно важной проблема актуализации информационной базы СВБУ становится на этапе эксплуатации, когда работы необходимо проводить непосредственно на АЭС – объекте повышенного риска эксплуатации.

Несмотря на применение производительных средств актуализации, ввиду большого размера и высокой сложности, процесс актуализации информационной базы СВБУ может требовать довольно продолжительного времени. Оценка временных затрат на актуализацию информационной базы СВБУ является важной задачей, поскольку сроки актуализации могут быть жестко ограничены временем планово-предупредительного ремонта или внепланового останова энергоблока АЭС.

Целью диссертационной работы является разработка метода для оценки временных затрат на актуализацию информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС и создание системы для актуализации информационной базы на этапе эксплуатации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- исследование средств актуализации информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС;
- исследование времени актуализации информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС;
- формализация методики полного цикла актуализации информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС от получения заданий до готового проекта;
- исследование потоков заданий на актуализацию информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС;
- обоснование возможности применения автоматизированных и автоматических средств актуализации информационной базы системы верхнего блочного уровня на различных этапах жизненного цикла АСУТП АЭС;
- разработка способа расчета (аппроксимации) линейной огибающей в моделях «Network calculus» для проектирования и анализа программных систем с очередями;
- разработка метода оценки максимального времени актуализации информационной базы на основе теории детерминированных систем с очередями «Network calculus», дополненной методикой расчета линейных огибающих; проверка метода на информационной базе системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС;
- интеграция средств актуализации и разработка системы подготовки данных для реализации полного цикла актуализации информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС.

Методы исследования: системный анализ, статистические методы, «Network calculus» (теория детерминированных систем с очередями), математическое программирование.

Научная новизна.

- 1) Впервые предложен математически обоснованный способ расчета (аппроксимации) линейной огибающей в моделях «Network calculus» для проектирования и анализа программных систем с очередями.
- 2) Предложен метод оценки времени актуализации информационной базы на основе теории детерминированных систем с очередями «Network calculus». В отличие от существующих методов, предложенный метод позволяет оценивать *максимальное* время актуализации.
- 3) Определены характеристики потоков заданий на актуализацию информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС на различных этапах жизненного цикла и обоснована применимость

методов и средств актуализации. Подобные исследования не встречаются в открытой печати.

4) Создана одна из первых систем для реализации полного цикла актуализации информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС на этапе эксплуатации.

Практическая ценность работы.

1) Метод на основе теории детерминированных систем с очередями «Network calculus», дополненной методикой расчета линейных огибающих, может быть применен для оценки максимального времени актуализации любых информационных баз. Метод особенно актуален для промышленных систем с высоким экономическим риском в случае простоя и повышенным риском эксплуатации, а также для систем с неопределенным входящим потоком.

2) Способ расчета (аппроксимации) линейной огибающей может быть применен в любых моделях «Network calculus» для проектирования и анализа программных систем с очередями, использующих эмпирические данные.

3) Программно-технический комплекс системы подготовки данных обеспечивает выполнение следующих задач сопровождения информационной базы системы верхнего блочного уровня: реализацию полного цикла актуализации на всех этапах жизненного цикла; обеспечение безопасности актуализации; возможность работы с долговременными архивами; автоматизированный выпуск документации; организацию полноценных рабочих мест для персонала.

Реализация результатов работы.

1) Метод на основе модифицированной теории детерминированных систем с очередями «Network calculus» применяется для оценки максимального времени актуализации информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС «Куданкулам» (Индия).

2) Программно-технический комплекс системы подготовки данных для АЭС «Бушер» (Иран) сдан и эксплуатируется.

3) Программное обеспечение системы подготовки данных для АЭС «Куданкулам» (Индия) сдано и эксплуатируется.

4) Программно-технический комплекс системы подготовки данных применяется для актуализации информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС в ИПУ РАН.

Достоверность полученных результатов подтверждается испытаниями, практическим применением на АЭС и на полигоне ИПУ РАН.

Положения, выносимые на защиту.

- 1) Предложен метод оценки максимального времени актуализации информационной базы, основанный на теории детерминированных систем с очередями «Network calculus», дополненной методикой расчета линейных огибающих, и предназначенный для промышленных систем с высоким экономическим риском в случае простоя и повышенным риском эксплуатации, а также для систем с неопределенным входящим потоком.
- 2) Предложен способ расчета (аппроксимации) линейной огибающей в моделях «Network calculus» для проектирования и анализа программных систем с использованием углового коэффициента искомой прямой и ширины полосы, в которую должна вписаться прямая, в качестве оптимизируемых параметров.
- 3) Исследованы потоки заданий на актуализацию информационной базы системы верхнего блочного уровня АСУТП АЭС «Куданкулам» ЭБ-1 и ЭБ-2 (Индия). Показано, что они схожи по статистическим показателям, носят выраженный недетерминированный характер и не могут быть смоделированы процессом Пуассона; поток заданий ЭБ-1 более насыщен.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 17-ти международных и всероссийских конференциях: [6] – [10], [12] – [35] и на научных семинарах ИПУ РАН.

Соответствие паспорту специальности. Работа соответствует паспорту специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» и охватывает следующие области исследования: п. 1 «Модели, методы и алгоритмы проектирования и анализа программ и программных систем, их эквивалентных преобразований, верификации и тестирования»; п. 3 «Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем»; п. 10 «Оценка качества, стандартизация и сопровождение программных систем».

Публикации. По теме исследования опубликовано 38 научных работ, из них 5 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 5 публикаций, индексируемых в Scopus и Web of Science, одна монография.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из Введения, четырех Глав, Заключения, Списка литературы (177 наименований) и Приложений. Работа содержит 187 страниц машинописного текста (из них 55 страниц в Приложениях), включая 52 рисунка и 36 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическая ценность, приведены сведения по апробации работы и имеющимся публикациям, указаны положения, выносимые на защиту.

В **Главе 1** приведен обзор методов и моделей для оценки времени актуализации информационных баз промышленных систем. Выделены их основные недостатки, не позволяющие их использовать для информационной базы СВБУ. Обоснована необходимость применения нового метода.

Задачу оценки времени актуализации (т.е. поддержания в актуальном состоянии посредством операций добавления, исключения и редактирования элементов) информационных баз в общем случае можно рассматривать как одну из задач оценки затрат на разработку программного обеспечения (ПО). Под затратами здесь понимаются временные, человеческие, или денежные ресурсы. Первые работы в этой области были сделаны в 1960-х (*Farr L., Nelson E.*). В 1970-х были открыты общие законы и созданы методологии управления проектами ПО (*Royce W.W., Brooks F.*), немного позже – более прикладные модели и методы для оценки затрат на разработку ПО (*Boehm B., Putnam L., Galorath D.*). В настоящее время эта область хорошо исследована (*Jørgensen M.*), известен целый ряд моделей и методов. Преобладающими остаются экспертные методы оценки. Среди формальных можно выделить методы, основанные на аналогии, методы прогнозирования с использованием нечеткой логики, а также параметрические модели. Однако все эти методы либо не учитывают итерационного характера жизненного цикла и ориентированы на «водопадную» модель, либо достаточно сложны и нуждаются в тонкой калибровке под конкретный проект. Исследования показывают, что как экспертные, так и формальные методы имеют недостатки, что не существует «лучшего» метода, эффективность методов зависит от конкретной задачи.

Поэтому на основании анализа методов можно заключить, что для актуализации, как процесса многократного выполнения однотипных операций по обработке потока заданий, хорошо подойдет теория массового обслуживания. За более чем вековую историю (от *Erlang A.K.* до *Kingman J.F.C.* и *Asmussen S.*) создано много моделей: от простых классических, до сложных современных. Тем не менее, любая самая сложная модель теории массового обслуживания работает с понятиями теории вероятностей и может предсказать только средние значения временных характеристик и очередей. Но известно, что статистические

характеристики неудобны в использовании: для дальнейших расчетов и планов нужны характеристики детерминированные. Кроме того, средние статистические характеристики, возможно, подходят для небольших систем, но недопустимы для промышленных систем с высоким экономическим риском в случае простоя и повышенным риском эксплуатации (к которым относятся АЭС), где наибольший интерес представляют наихудшие значения прогнозируемых величин. При оценке временных затрат для таких систем необходимо предсказать не среднее время актуализации, а максимальное (гарантированное).

В конце прошлого века в связи с бурным развитием компьютерных сетей возник новый подход – рассматривать очереди и задержки как детерминированные явления, работая не с вероятностными характеристиками, а с регулярными ограничениями. Зародившаяся в начале 1990-х теория детерминированных систем с очередями получила название «Network calculus» (*Cruz R.L.*). В конце 1990-х она была переведена на математический аппарат мин-плюс алгебры (*Le Boudec J.-Y.*).

Важное отличие «Network calculus» от теории массового обслуживания – использование в расчетах не стохастических моделей, а детерминированных ограничений на потоки в виде огибающих потоков и на обслуживание в виде функций обслуживания (табл. 1). Это позволяет работать с более широким классом входящих потоков и делает теорию интуитивно более понятной и доступной в инженерном плане. При этом результаты получаются также в виде ограничений (максимальных значений). «Network calculus» изначально предназначен для расчета наихудших значений, но используется для вычислительных сетей. Поэтому возникает *задача модификации «Network calculus» и его применения для оценки максимального времени актуализации информационной базы СВБУ.*

Таблица 1. Теория массового обслуживания и «Network calculus»

	Теория массового обслуживания	«Network calculus»
Входящий поток	Распределения вероятностей	Детерминированные ограничения – огибающие
Процедура обслуживания	Распределения вероятностей	Детерминированные ограничения – функции обслуживания
Результаты	Статистически средние величины, распределения вероятностей	Детерминированные ограничения – максимальные, наихудшие значения

В этой же Главе приведен обзор существующих средств актуализации информационных баз систем контроля и управления. Обоснована необходимость создания системы для актуализации информационной базы СВБУ.

Обычно для актуализации информационных баз используются те же инструментальные комплексы SCADA-систем, что и для их разработки. В настоящее время на рынке много мощных, универсальных, открытых SCADA-систем, которые успешно работают с большими, сложными информационными базами и о которых доступны обстоятельные обзоры (*Ицкович Э.Л.*). Но универсальные SCADA-системы имеют ряд недостатков: не обеспечивают избранной актуализации информационных баз только в части сигналов и мнемосхем, не обеспечивают полного цикла актуализации, поскольку для тестирования необходимы другие комплексы, и самое главное – в области верхнего уровня АСУТП объектов атомной энергетики универсальные SCADA-системы не используются. Специализированные средства актуализации информационной базы СВБУ, лишенные недостатков, применяются разрозненно, вне единой системы. В связи с этим возникает *задача интеграции средств актуализации, лишенных недостатков, и создания системы для актуализации информационной базы СВБУ.*

В **Главе 2** приведена краткая характеристика СВБУ и подробная характеристика ее информационной базы. Изложены методика актуализации и результаты исследования времени актуализации информационной базы СВБУ.

Информационная база СВБУ состоит из частей – проектов: объединенных и частных. Каждый объединенный проект соответствует определенной функциональной подсистеме СВБУ, каждый частный проект – одной из систем нижнего уровня АСУТП. Объединенные проекты создаются из частных. Актуализация информационной базы СВБУ осуществляется отдельно для каждой из систем нижнего уровня по частным проектам; на технические средства СВБУ устанавливаются объединенные проекты. Цель актуализации – создание объединенных проектов.

Для актуализации информационной базы СВБУ используются как автоматические, так и автоматизированные процедуры, а также САД-программы. Автоматизированные средства, удобные для незначительных модификаций, при больших объемах изменений требуют слишком больших временных затрат. Проведенные исследования показали, что время актуализации одного частного проекта при использовании автоматизированных средств может достигать до 10 и более рабочих дней.

Автоматические процедуры – наиболее производительный способ актуализации. На основе проведенных экспериментов установлено, что при модификации проектов в полном объеме применение автоматических процедур сокращает время актуализации на 2–3 порядка.

В методике актуализации информационной базы СВБУ можно выделить следующие принципы: актуализация по частям (по частным проектам) с последующим объединением их в объединенные проекты; полномасштабное тестирование; ограниченные возможности актуализации. Создание объединенных проектов производится по схеме, которая в целом реализует единое информационное пространство.

Обеспечивается полный цикл актуализации информационной базы СВБУ (рис. 1): получение задания на актуализацию, актуализация, тестирование, коррекция (в случае, если были выявлены дефекты), поставка. Все процессы циклически повторяются, поскольку задания поступают многократно.



Рис. 1. Полный цикл актуализации информационной базы СВБУ

В этой же Главе приведены результаты исследования потоков заданий на актуализацию информационной базы СВБУ АСУТП АЭС «Куданкулам» ЭБ-1 и ЭБ-2 (Индия). Можно выделить две основные причины потоков заданий: добавление новых функциональных возможностей, ввод новых модулей и подсистем в СВБУ и АСУТП (на этапах проектирования и пуско-наладки); выявление ошибок, несоответствий и неточностей в информационной базе СВБУ (на всех этапах жизненного цикла АСУТП). На каждую из этих причин накладывается составляющая, связанная с деятельностью по формированию заданий на актуализацию.

Задания на мнемосхемы и на сигналы поступают отдельно (рис. 1), поэтому поток имеет сложный характер и состоит из двух отдельных потоков: заданий на мнемосхемы и заданий на сигналы. Задания выдаются пакетами, которые имеют переменный размер, поскольку всякий раз изменению подвергается определенная часть информационной базы.

Каждый из потоков заданий на мнемосхемы и на сигналы можно представить временным рядом следующего вида: пакеты случайного размера поступают в случайные моменты времени. Поток заданий на мнемосхемы СВБУ ЭБ-1 представлен на рис. 2 (с временной оси удалены даты и указаны этапы жизненного цикла АСУТП; график охватывает период около 8,5 лет).

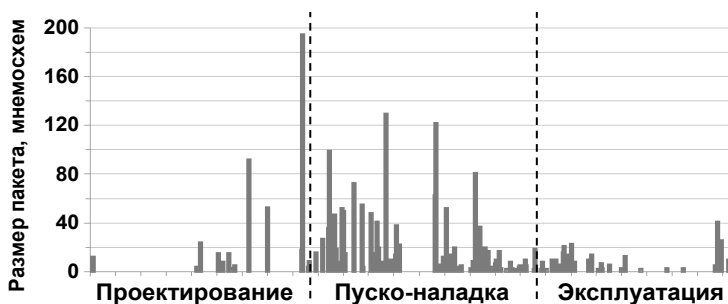


Рис. 2. Поток заданий на мнемосхемы СВБУ ЭБ-1 в жизненном цикле АСУТП АЭС «Куданкулам» (Индия)

В процессе исследования выявлен ряд характеристик, которыми обладают все потоки заданий (на мнемосхемы, на сигналы, ЭБ-1 и ЭБ-2): значительная продолжительность (более 8 лет), недетерминированность, неординарность, невозможность подбора простого закона распределения (нормального или экспоненциального), отсутствие корреляции между размерами пакетов и интервалами времени между ними, отсутствие автокорреляции, неоднородность, нестационарность, начиная с этапа пуско-наладки, отрицательный тренд.

В то же время, потоки заданий на сигналы имеют некоторые характеристики, отличные от потоков заданий на мнемосхемы: они более насыщены на этапе проектирования, более однородны как по размерам пакетов, так и по интервалам времени между ними, в целом менее насыщены. Важно, что большие объемы заданий на сигналы наблюдаются на всех этапах жизненного цикла, в отличие от заданий на мнемосхемы, объемы которых существенно сокращаются на этапе эксплуатации (рис. 2). Отсюда можно сделать вывод, что автоматические средства актуализации информационной базы в части мнемосхем не

востребованы на этапе эксплуатации, в этом случае достаточно автоматизированных средств; автоматические процедуры актуализации информационной базы в части сигналов крайне необходимы на всех этапах жизненного цикла АСУТП АЭС.

Также установлено, что потоки заданий ЭБ-1 и ЭБ-2 схожи по некоторым статистическим показателям размеров пакетов (средний размер пакета в пределах стандартной ошибки, медиана, мода, стандартное отклонение), но потоки заданий ЭБ-1 значительно более насыщены (превосходят потоки заданий ЭБ-2 по суммарному числу мнемосхем или суммарному объему сигналов, числу пакетов, числу пакетов в рабочий день, максимальному размеру пакета). Объясняется это тем, что в соответствии с проектом ЭБ-2 референтен ЭБ-1.

Основной вывод из исследования потоков заданий заключается в том, что потоки не являются пуассоновскими. Поэтому к ним трудно подобрать простую модель и эффективно ее анализировать. В этом случае лучше принять, что потоки образуют нерегулярную последовательность и проводить вычисления, не опираясь на функции распределения вероятностей (*Kingman J.F.C.*).

В этой же Главе поставлена задача оценки максимального времени актуализации информационной базы СВБУ. Для систем с итерационным жизненным циклом задача состоит в оценке времени, за которое может быть проведен цикл актуализации, т.е. получена работоспособная (в общем случае, не окончательная) версия информационной базы с учетом образующейся очереди. Для промышленных систем с высоким экономическим риском в случае простоя и повышенным риском эксплуатации (к которым относятся объекты атомной энергетики) решение этой задачи имеет особое значение: наибольший интерес представляет оценка максимального (или гарантированного) времени актуализации. Для информационной базы СВБУ задача поставлена следующим образом: поток заданий за некоторый промежуток времени из прошлого известен, необходимо оценить максимальное время полного цикла актуализации в будущем. Интерес представляет решение задачи для этапа эксплуатации.

В **Главе 3** изложены основы теории детерминированных систем с очередями «Network calculus», необходимые для решения задачи оценки максимального времени актуализации информационной базы. Выбор «Network calculus» для решения этой задачи обусловлен двумя его важными свойствами: выдача результатов в виде максимальных значений, возможность работы с неопределенным входящим потоком.

Максимальные значения времени обслуживания и длины очереди вычисляются в «Network calculus» с помощью ограничений (табл. 1). Минимальная (или эмпирическая) огибающая входящего потока:

$$E(t) = \sup_{s \geq 0} \{A(t+s) - A(s)\} \quad (1)$$

(где $A(t)$ кумулятивная функция входящего потока – суммарное количество данных на входе, наблюдаемых на интервале $[0, t]$) определяет верхнюю границу потока данных на любом интервале t , начинающемся в произвольный момент времени s . Функция обслуживания $S(t)$ определяет минимальное гарантированное обслуживание системы. Тогда время обслуживания dl и длина очереди bl будут равны:

$$dl(t) \leq \sup_{s \geq 0} \{\inf \{\tau \geq 0 : E(s) \leq S(s + \tau)\}\}, \quad bl(t) \leq \sup_{s \geq 0} \{E(s) - S(s)\}, \quad \forall t. \quad (2)$$

Однако использование эмпирической огибающей (1) и функции обслуживания общего вида в формулах (2) довольно затруднительно. Более удобными в применении эти формулы становятся в случае линейных огибающих входящих потоков и линейных функций обслуживания.

Функции обслуживания, наиболее часто использующиеся в моделях «Network calculus», имеют вид:

$$S(t) = \begin{cases} R(t - T), & t > T \\ 0, & t \leq T \end{cases}, \quad (3)$$

где R – скорость обслуживания, T – задержка обслуживания. Они могут быть взяты из паспортных данных либо получены экспериментально.

Эмпирические огибающие входящих потоков могут быть аппроксимированы линейными функциями из физических соображений. Для вычисления максимальных значений времени обслуживания и длины очереди (2) необходимо найти прямую (касательную), ограничивающую эмпирическую огибающую (1) сверху.

В «Network calculus» используются две модели линейных огибающих входящих потоков.

Однокомпонентная огибающая:

$$E(t) = rt + b, \quad (4)$$

где r – скорость потока, b – «всплеск».

Двухкомпонентная огибающая (модель IntServ):

$$E(t) = \min \{ r_1 t + b_1, r_2 t + b_2 \}, \quad b_1 < b_2, \quad r_1 > r_2, \quad (5)$$

где r_1 – пиковая скорость, b_1 – максимальный размер пакета, r_2 – устойчивая скорость, b_2 – «всплеск».

Максимальные время обслуживания и длина очереди (2) в случае линейной функции обслуживания (3) будут равны:
для однокомпонентной огибающей (4):

$$dl = \frac{b}{R} + T, \quad r \leq R, \quad (6)$$

$$bl = rT + b, \quad r \leq R; \quad (7)$$

для двухкомпонентной огибающей (5):

$$dl = \frac{1}{R} \left[b_1 + \frac{b_2 - b_1}{r_1 - r_2} (r_1 - R)^+ \right] + T, \quad r_2 \leq R, \quad (8)$$

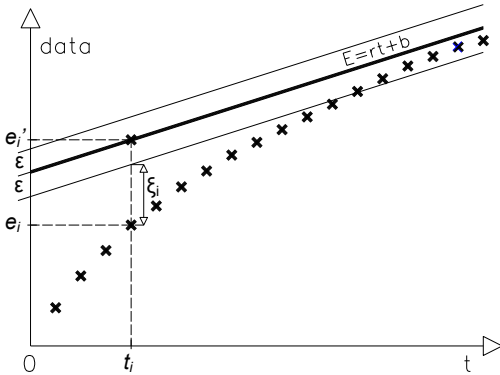
$$bl = r_2 T + b_2 + \left(\frac{b_2 - b_1}{r_1 - r_2} - T \right)^+ \left((r_1 - R)^+ - r_1 + r_2 \right), \quad r_2 \leq R. \quad (9)$$

Из (6) следует, что в случае однокомпонентной огибающей для расчета максимального времени обслуживания необходимо искать прямую с максимальным «всплеском» b .

Проблема с линейными огибающими (4) и (5) заключается в том, что каждый из исследователей «проводит» такие огибающие, основываясь на своей интуиции. Математически обоснованных методик расчета линейных огибающих не встречается в современных публикациях.

В этой же Главе поставлена и решена задача расчета (аппроксимации) линейной огибающей в моделях «Network calculus» для проектирования и анализа программных систем с очередями. Идея решения задачи основана на методе опорных векторов (*Ванник В.Н.*). В частности, известны подобные задачи регрессии по опорным векторам (*Ванник В.Н., Scholkopf B., Smola A., Burges C.*).

Для удобства решения оптимизационной задачи условие максимума «всплеска» b заменено на условие минимума скорости потока r (минимума углового коэффициента прямой). Задача поставлена следующим образом. Дана эмпирическая огибающая – неубывающая последовательность точек (10) (рис. 3). Необходимо найти оптимальную линейную огибающую (4), касательную к эмпирической и ограничивающую ее сверху, с наименьшим углом наклона r , наиболее близкую к точкам эмпирической огибающей. За меру близости прямой (4) к точке (t_i, e_i) принята величина (11); ξ_i обозначена ширина полосы, в которую должна вписаться эта величина, без учета ошибки ε . Тогда можно записать неравенства (12), первое из которых описывает точки, лежащие ниже прямой, второе – точки, лежащие выше прямой.



$$(t_i, e_i), \quad t_i \geq 0, \quad e_i \geq 0, \quad (10)$$

$$t_{i+1} \geq t_i, \quad e_{i+1} \geq e_i, \quad i = 1, \dots, N$$

$$e_i' - e_i = rt_i + b - e_i \quad (11)$$

$$\begin{cases} rt_i + b - e_i \leq \xi_i + \varepsilon \\ e_i - rt_i - b \leq \varepsilon \end{cases} \quad (12)$$

Рис. 3. Задача расчета однокомпонентной линейной огибающей

Оптимизационная задача состоит в минимизации квадратичного функционала:

$$\frac{1}{2} r^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i \rightarrow \min_{r, \xi} \quad (13)$$

(где C – управляющий параметр) при выполнении условий:

$$\begin{cases} rt_i + b - e_i \leq \xi_i + \varepsilon, \quad i = 1, \dots, N; \\ e_i - rt_i - b \leq \varepsilon, \quad i = 1, \dots, N; \\ r \geq 0; \quad b \geq 0; \\ \xi_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, N. \end{cases} \quad (14)$$

По теореме Куна – Таккера задача (13), (14) эквивалентна двойственной задаче поиска седловой точки функции Лагранжа:

$$\begin{aligned} L(r, b, \xi, \alpha, \alpha^*, \beta, \gamma, \eta) = & \frac{1}{2} r^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i + \sum_{i=1}^N \alpha_i (rt_i + b - e_i - \xi_i - \varepsilon) + \\ & + \sum_{i=1}^N \alpha_i^* (e_i - rt_i - b - \varepsilon) - \sum_{i=1}^N \beta_i \xi_i - \gamma r - \eta b. \end{aligned}$$

Задача поиска седловой точки сведена к задаче квадратичного программирования относительно двойственных переменных α_i и α_i^* :

$$\begin{cases} L(\alpha, \alpha^*) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\alpha_i^* - \alpha_i)(\alpha_j^* - \alpha_j) t_j - \varepsilon \sum_{i=1}^N (\alpha_i + \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^N e_i (\alpha_i^* - \alpha_i) \rightarrow \max_{\alpha, \alpha^*}; \\ 0 \leq \alpha_i \leq C, \quad \alpha_i^* \geq 0, \quad i = 1, \dots, N; \\ \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0. \end{cases} \quad (15)$$

В задаче поиска двухкомпонентной линейной огибающей задана та же эмпирическая огибающая (10), но необходимо найти не одну прямую, а две (5). Ограничения, накладываемые моделью IntServ, использовались в качестве условий оптимизации: минимизировать r_2 и максимизировать r_1 . Считалось, что смена компоненты (прямой) происходит в точке (t_n, e_n) . Задача оптимизации имеет вид:

$$B \left(\frac{1}{r_1} + C \sum_{i=1}^n \xi_{1i}^2 \right) + \left(r_2^2 + C \sum_{i=n}^N \xi_{2i}^2 \right) \rightarrow \min_{r_1, r_2, \xi_{1i}, \xi_{2i}} \quad (16)$$

при выполнении условий:

$$\begin{cases} r_1 t_i + b_1 - e_i \leq \xi_{1i} + \varepsilon, & i = 1, \dots, n; \\ r_2 t_i + b_2 - e_i \leq \xi_{2i} + \varepsilon, & i = n, \dots, N; \\ e_i - r_1 t_i - b_1 \leq \varepsilon, & i = 1, \dots, n; \\ e_i - r_2 t_i - b_2 \leq \varepsilon, & i = n, \dots, N; \\ r_1 \geq 0; \quad r_2 \geq 0; \quad r_1 > r_2; \\ b_1 \geq 0; \quad b_2 \geq 0; \quad b_1 < b_2; \\ \xi_{1i} \geq 0, & i = 1, \dots, n; \\ \xi_{2i} \geq 0, & i = n, \dots, N. \end{cases} \quad (17)$$

Здесь ξ_{1i} и ξ_{2i} – ширина полосы для первой и второй компоненты соответственно; ε – величина ошибки; параметр C аналогичен однокомпонентной модели; параметр B позволяет регулировать соотношения между двумя компонентами огибающей. Задача (16), (17) решается численно.

На основе теории детерминированных систем с очередями «Network calculus», дополненной методикой расчета линейных огибающих, получен метод оценки максимального времени актуализации информационной базы. Для использования метода необходимы: огибающая входящего потока и функция обслуживания (линейные).

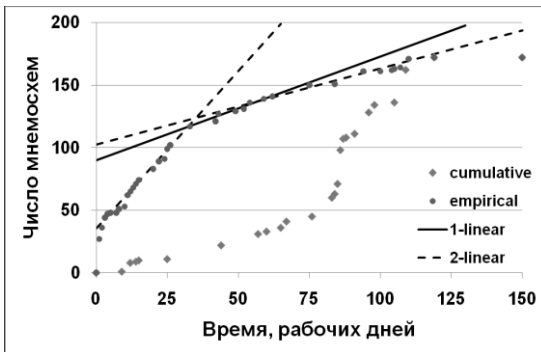
Единственное условие применимости «Network calculus»: скорость обслуживания должна превышать скорость входящего потока. При этом «Network calculus» не накладывает никаких ограничений на входящий поток – поток может иметь произвольные характеристики.

Решение задачи оценки максимального времени актуализации информационной базы с помощью «Network calculus» можно проводить по алгоритму, состоящему из двух независимых ветвей: 1) исследование входящего потока (вычисление эмпирической огибающей и расчет линейной огибающей); 2) вывод функции обслуживания.

Функцию обслуживания можно найти экспериментальным путем, посредством исследования зависимости времени актуализации информационной базы от объема заданий на актуализацию.

В этой же Главе приведены результаты проверки предложенного метода на информационной базе СВБУ АСУТП АЭС «Куданкулам» ЭБ-1 (Индия). Была проведена оценка максимального времени актуализации информационной базы на этапе эксплуатации.

За основу расчетов в качестве входящего потока взят поток заданий на мнемосхемы. Проведены расчеты огибающих для первых 150-ти рабочих дней этапа эксплуатации. Параметры задач оптимизации для расчета линейных огибающих заданы следующим образом: $C = 2$, $\varepsilon = 1\%$ от e_N для обеих моделей; $B = 1$. Получены уравнения однокомпонентной (18) и двухкомпонентной (19) линейных огибающих. На рис. 4 представлены результаты численных расчетов: cumulative – кумулятивная функция входящего потока, empirical – эмпирическая огибающая, 1-linear – однокомпонентная и 2-linear – двухкомпонентная линейные огибающие.



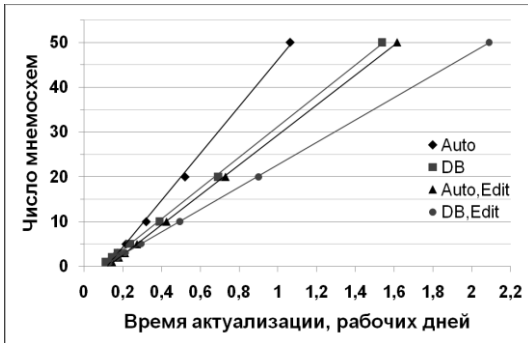
$$E(t) = 0,83t + 89,8 \quad (18)$$

$$\begin{cases} E_1(t) = 2,5t + 35,2 \\ E_2(t) = 0,61t + 102,4 \end{cases} \quad (19)$$

Рис. 4. Результаты исследования входящего потока

Вывод функций обслуживания вида (3) проведен на полном цикле актуализации информационной базы СВБУ (рис. 1). Определено несколько способов актуализации (указаны подстрочными индексами): *Auto* – автоматическая актуализация в части сигналов без изменения мнемосхем; *DB* – автоматизированная актуализация в части сигналов без изменения мнемосхем; *Auto, Edit* – автоматическая актуализация в части сигналов с изменением мнемосхем; *DB, Edit* – автоматизированная актуализация в части сигналов с изменением мнемосхем.

За единицу изменений принята 1 мнемосхема и найдена экспериментальная зависимость времени выполнения полного цикла актуализации проекта информационной базы СВБУ от числа мнемосхем. На рис. 5 представлены усредненные результаты. Получены функции обслуживания (20).



$$S_{Auto}(t) = 52,31(t - 0,12)$$

$$S_{DB}(t) = 34,35(t - 0,09) \quad (20)$$

$$S_{Auto, Edit}(t) = 33,39(t - 0,12)$$

$$S_{DB, Edit}(t) = 25,03(t - 0,09)$$

Рис. 5. Зависимость времени полного цикла актуализации проекта информационной базы СВБУ от числа мнемосхем

Из графика (рис. 5), сравнивая времена *Auto* и *DB*, а также *Auto, Edit* и *DB, Edit*, нетрудно заметить, что при изменениях порядка 5–10 мнемосхем временные затраты для полного цикла актуализации информационной базы СВБУ при использовании автоматических и автоматизированных процедур сопоставимы. При количестве мнемосхем более 10 выигрыш по времени от применения автоматических процедур становится очевидным.

Получены следующие численные результаты. При использовании однокомпонентной линейной огибающей (18) и функций обслуживания (20) максимальные времена актуализации и длины очередей, вычисленные по формулам (6) и (7), равны: $dl_{Auto}=1,8$ раб. дней, $bl_{Auto}=89,8$ мнемосхем; $dl_{DB}=2,7$ раб. дней, $bl_{DB}=89,8$ мнемосхем; $dl_{Auto, Edit}=2,8$ раб. дней, $bl_{Auto, Edit}=89,8$ мнемосхем; $dl_{DB, Edit}=3,7$ раб. дней, $bl_{DB, Edit}=89,8$ мнемосхем.

При использовании двухкомпонентной линейной огибающей (19) и тех же функций обслуживания (20) максимальные времена актуализации и длины очередей, вычисленные по формулам (8) и (9), равны: $dl_{Auto}=0,8$ раб. дней, $bl_{Auto}=35,5$ мнемосхем; $dl_{DB}=1,1$ раб. дней, $bl_{DB}=35,4$ мнемосхем; $dl_{Auto, Edit}=1,2$ раб. дней, $bl_{Auto, Edit}=35,5$ мнемосхем; $dl_{DB, Edit}=1,5$ раб. дней, $bl_{DB, Edit}=35,4$ мнемосхем.

Если рассматривать полученные результаты как оценку максимальных значений времен актуализации и длин очередей, то все результаты оказались правильными. Фактические значения никогда не превышали вычисленных величин. Однако однокомпонентная огибающая дала завышенные результаты. Практический опыт актуализации показал, что результаты двухкомпонентной огибающей более близкие к реальным значениям.

В **Главе 4** представлена характеристика программно-технического комплекса системы подготовки данных.

Для сопровождения информационной базы СВБУ на этапе эксплуатации на площадке АЭС и обеспечения полного цикла актуализации (рис. 1) проведена интеграция программных средств и создан программно-технический комплекс (ПТК) системы подготовки данных (СПД), на котором реализовано решение следующих задач: внесение изменений в регламентированном объеме в информационную базу СВБУ, проверка информационной базы после внесения изменений, передача изменений в общешлюзовый сервер СВБУ, работа с долговременными архивами СВБУ, внесение изменений в документацию.

Для внесения изменений в информационную базу СВБУ на ПТК СПД установлены все процедуры актуализации и обеспечена возможность актуализации всех объединенных проектов. Для проверки информационной базы после внесения изменений на ПТК СПД установлен программный имитатор СВБУ и имитаторы шлюзов систем нижнего уровня, с помощью которых обеспечена возможность протестировать каждый объединенный проект. Для работы с долговременными архивами СВБУ на ПТК СПД установлена штатная программа просмотра архивов, которая используется на автоматизированных рабочих местах СВБУ. Для внесения изменений в документацию на информационную базу СВБУ на ПТК СПД установлены специализированные программы.

Поскольку ПТК СПД предназначен для этапа эксплуатации непосредственно на объекте повышенного риска эксплуатации (АЭС), одно из важных требований – обеспечение безопасности. Наиболее актуальны для ПТК СПД две задачи защиты информации: от несанкционированного доступа и от непреднамеренного воздействия.

Защита информации от непреднамеренного воздействия обеспечивается методикой актуализации информационной базы СВБУ: возможности внесения изменений в информационную базу ограничены (ПТК СПД обеспечивает только актуализацию и исключает возможность разработки), обеспечивается полномасштабное тестирование.

Защита информации от несанкционированного доступа обеспечивается системными средствами – операционной системой LICS 1000 (Linux of Institute of Control Sciences, Linux ИПУ РАН) и включает: контроль доступа и стойкость паролей, регистрацию и учет входа/выхода, обеспечение информационной целостности. Из соображений безопасности ПТК СПД не входит в состав СВБУ и не соединен с ней локальной вычислительной сетью.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

- 1) Предложен метод оценки максимального времени актуализации информационной базы на основе теории детерминированных систем с очередями «Network calculus», дополненной методикой расчета линейных огибающих. Проведена проверка предложенного метода на информационной базе СВБУ АСУТП АЭС «Куданкулам» ЭБ-1 (Индия), которая подтвердила его работоспособность.
- 2) Предложен математически обоснованный способ расчета (аппроксимации) одно- и двухкомпонентной линейных огибающих в моделях «Network calculus» для проектирования и анализа программных систем с очередями. Поставлены и решены соответствующие оптимизационные задачи.
- 3) В результате исследования потоков заданий на актуализацию информационной базы СВБУ АСУТП АЭС «Куданкулам» ЭБ-1, 2 (Индия) установлено, что потоки заданий ЭБ-1 и ЭБ-2 схожи по статистическим показателям, носят выраженный недетерминированный характер и не могут быть смоделированы процессом Пуассона. Выявлены схожие и отличные характеристики потоков заданий на мнемосхемы и на сигналы. Обоснована применимость методов и средств актуализации.
- 4) В результате исследования времени актуализации информационной базы СВБУ АСУТП АЭС при использовании автоматизированных и автоматических средств установлено, что при модификации всех объектов со всеми атрибутами применение автоматических процедур сокращает время актуализации на 2–3 порядка. В полном цикле актуализации информационной базы СВБУ при изменениях не превышающих 5–10 мнемосхем временные затраты при использовании автоматизированных и автоматических процедур сопоставимы. При количестве мнемосхем более 10 автоматические процедуры обеспечивают значительный выигрыш по времени.
- 5) Формализована методика полного цикла актуализации информационной базы СВБУ АСУТП АЭС от получения заданий до готового проекта. Схема создания объединенного проекта как основная часть методики в целом обеспечивает единое информационное пространство.
- 6) В результате интеграции средств актуализации создана система подготовки данных для реализации полного цикла актуализации информационной базы СВБУ АСУТП АЭС.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. *Байбулатов А.А., Промыслов В.Г.* Аппроксимация огибающей в приложениях «Network calculus» // Проблемы управления, 2016, № 6. С. 59-64.
2. *Байбулатов А.А.* Метод расчета гарантированного времени модификации программного обеспечения // Проблемы управления, 2016, № 1. С. 58-64.
3. *Байбулатов А.А.* Автоматизация внесения изменений в базы данных АСУТП АЭС на этапе эксплуатации // Автоматизация в промышленности, 2015, № 6. С. 48-50.
4. *Бывайков М.Е., Акафьев К.В., Байбулатов А.А., Зуенкова И.Н.* База данных системы верхнего блочного уровня АСУ ТП АЭС: структура и методика разработки // Ядерные измерительно-информационные технологии, 2014, № 4. С. 24-31.
5. *Полетыкин А.Г., Бывайков М.Е., Менгазетдинов Н.Э., Байбулатов А.А.* Основные решения по созданию системы верхнего (блочного) уровня АСУ ТП АЭС // Ядерные измерительно-информационные технологии, 2004, № 1. С. 3-16.

Публикации в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science

6. *Baybulatov A.A.* A Novel Approach to Estimating Databases Maximum Updating Time // Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 658, 2018. P. 104-112.
7. *Baybulatov A.A.* An Investigation of the Information Base Actualization Time when Using Automated and Automatic Tools // Proceedings of the 2017 IEEE Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD). Moscow, Russia. October 2 – 4, 2017, P. 1-4, <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109600/>.
8. *Baybulatov A.A., Promyslov V.G.* A Technique for Envelope Regression in Network Calculus // Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2017). Moscow, Russia. September 20 – 22, 2017, Vol. 1. P. 338-341.
9. *Baybulatov A.A.* An Example of Industrial System Databases Security Assurance during the Maintenance Stage // IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 9, 2013. P. 1091-1095.
10. *Poletykin A., Byvaykov M., Baybulatov A.* ABIS: A Language of Intelligent Systems // Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS 2008). Chengdu, China. September 21 – 24, 2008, CD ISBN 978-1-4244-1674-5. P. 226-229.

Монографии

11. *Полетыкин А.Г., Зуенкова И.Н., Байбулатов А.А.* Основы человеко-машинного интерфейса системы Оператор: монография [Электронный ресурс] // М.: ИПУ РАН, 2013. 163 с. – ISBN 978-5-91450-129-4 URL: <http://www.ipu.ru/node/20340>.

Публикации в других рецензируемых изданиях

12. *Байбулатов А.А.* Исследование времени актуализации информационной базы верхнего уровня АСУТП АЭС при использовании автоматизированных и автоматических средств // Труды Десятой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2017 (Москва, 2 – 4 октября 2017 г.). М.: ИПУ РАН, 2017. т. 2. С. 163-170.
13. *Байбулатов А.А.* О времени актуализации информационной базы при использовании автоматизированных и автоматических средств // Материалы Десятой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2017 (Москва, 2 – 4 октября 2017 г.). М.: ИПУ РАН, 2017. т. 2. С. 220-222.
14. *Байбулатов А.А.* Исследование потоков заданий на актуализацию информационной базы верхнего уровня АСУТП АЭС // Труды Девятой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2016 (Москва, 3 – 5 октября 2016 г.). М.: ИПУ РАН, 2016. т. 2. С. 161-170.
15. *Байбулатов А.А. Промыслов В.Г.* Задача расчета линейной огибающей в «Network calculus» // Труды Девятой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2016 (Москва, 3 – 5 октября 2016 г.). М.: ИПУ РАН, 2016. т. 2. С. 206-213.
16. *Байбулатов А.А.* Некоторые замечания о потоках заданий на актуализацию информационных баз референтных систем // Материалы Девятой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2016 (Москва, 3 – 5 октября 2016 г.). М.: ИПУ РАН, 2016. т. 2. С. 212-214.
17. *Байбулатов А.А. Промыслов В.Г.* О задаче расчета линейной огибающей в «Network calculus» // Материалы Девятой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2016 (Москва, 3 – 5 октября 2016 г.). М.: ИПУ РАН, 2016. т. 1. С. 337-339.
18. *Байбулатов А.А.* Пример обеспечения безопасности информационных баз промышленных систем на этапе эксплуатации // Труды XXIII Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем» (Москва, 16 декабря 2015 г.). М.: РГГУ, 2015. С. 256-259.

19. *Байбулатов А.А.* Автоматизация сопровождения информационной базы верхнего уровня АСУ ТП АЭС в части графических мнемосхем // Труды 15-ой международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта» CAD/CAM/PDM-2015 (Москва, 26 – 28 октября 2015 г.). М.: ООО «Аналитик», 2015. С. 116-119.
20. *Байбулатов А.А.* Об автоматизации сопровождения информационной базы в части графических мнемосхем // Тезисы 15-ой международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта» CAD/CAM/PDM-2015 (Москва, 26 – 28 октября 2015 г.). М.: ООО «Аналитик», 2015. С. 44.
21. *Байбулатов А.А.* Оценка максимального времени актуализации информационных баз на примере верхнего уровня АСУ ТП АЭС // Труды Восьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2015 (Москва, 29 сентября – 1 октября 2015 г.). М.: ИПУ РАН, 2015. т. 2. С. 123-134.
22. *Байбулатов А.А.* Обзор средств актуализации информационных баз // Труды Восьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2015 (Москва, 29 сентября – 1 октября 2015 г.). М.: ИПУ РАН, 2015. т. 2. С. 338-346.
23. *Байбулатов А.А.* Об одном методе оценки максимального времени актуализации информационных баз // Материалы Восьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2015 (Москва, 29 сентября – 1 октября 2015 г.). М.: ИПУ РАН, 2015. т. 2. С. 171-173.
24. *Байбулатов А.А.* О средствах актуализации информационных баз верхнего уровня АСУ ТП АЭС // Материалы Восьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2015 (Москва, 29 сентября – 1 октября 2015 г.). М.: ИПУ РАН, 2015. т. 2. С. 174-176.
25. *Байбулатов А.А.* Система подготовки данных для СВБУ АСУ ТП АЭС // Труды Шестой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2012 (Москва, 1 – 3 октября 2012 г.). М.: ИПУ РАН, 2012. т. 2. С. 250-256.
26. *Байбулатов А.А.* О системе подготовки данных для СВБУ АСУ ТП АЭС // Материалы Шестой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2012 (Москва, 1 – 3 октября 2012 г.). М.: ИПУ РАН, 2012. т. 2. С. 247-248.

27. *Байбулатов А.А.* Особенности системы подготовки данных для верхнего уровня АСУ ТП АЭС // Сборник тезисов докладов 17-ой Международной конференции «Системный анализ, управление и навигация» (Крым, Евпатория, 1 – 8 июля 2012 г.). М.: МАИ, 2012. С. 73-74.
28. *Байбулатов А.А.* Особенности человеко-машинного интерфейса верхнего уровня АСУ ТП АЭС в части системы релейной защиты, контроля и управления электротехническим оборудованием // Труды конференции «Управление в технических системах» УТС-2010, Санкт-Петербург, 12 – 14 октября 2010 г. С. 193-195.
29. *Байбулатов А.А.* Пример проектирования человеко-машинного интерфейса верхнего уровня АСУ ТП АЭС // Сборник тезисов докладов 15-ой Международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация» (Крым, Евпатория, 27 июня – 4 июля 2010 г.). М.: МАИ, 2010. С. 89-91.
30. *Байбулатов А.А.* Особенности человеко-машинного интерфейса верхнего уровня АСУ ТП АЭС в части комплекса электрооборудования системы управления и защиты // Труды XI Международного семинара «Супервычисления и математическое моделирование», г. Саров 5 – 9 октября 2009 г., ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». С. 19-20.
31. *Байбулатов А.А.* Основные решения по созданию человеко-машинного интерфейса системы верхнего (блочного) уровня АСУ ТП АЭС в части комплекса электрооборудования системы управления и защиты // Труды российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ-08). М.: ИПУ РАН, 10-12 ноября 2008, CD ISBN 978-5-91450-022-8, С. 1009-1014.
32. *Полетыкин А.Г., Байбулатов А.А.* Обзор зарубежного опыта разработки систем человеко-машинного интерфейса АСУ ТП // Труды международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'2004, Москва 28 – 30 января 2004 г., ИПУ. CD ISBN 5-201-14966-9, С. 719-734.
33. *Полетыкин А.Г., Байбулатов А.А.* Основы языка ABIS // Труды международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'2003, Москва 29 – 31 января 2003 г., ИПУ. CD ISBN 5-201-14948-0, С. 872-886.
34. *Байбулатов А.А., Семенов К.В., Масолкин С.И., Промышлова О.А.* Разведочный анализ качества сложного программного обеспечения // Труды международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'2003, Москва 29 – 31 января 2003 г., ИПУ. CD ISBN 5-201-14948-0, С. 774-789.

35. Масолкин С.И., Байбулатов А.А., Полетыкин А.Г. Методика обеспечения качества ПО при разработке сложных систем // Труды международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления» РАСО'2001, Москва 2 – 4 октября 2001 г., ИПУ. CD ISBN 5-201-09559-3, С. 148-151.
36. Полетыкин А.Г., Бывайков М.Е., Менгазетдинов Н.Э., Байбулатов А.А. Основные решения по созданию системы верхнего (блочного) уровня АСУ ТП АЭС // Труды института проблем управления РАН. Том 18, 2002. С. 57-84.
37. Антонов А.В., Масолкин С.И., Байбулатов А.А. Применение экспертной оценки качества программного обеспечения при проведении верификационных процедур // Труды института проблем управления РАН. Том 18, 2002. С. 85-93.
38. Антонов А.В., Байбулатов А.А., Масолкин С.И., Полетыкин А.Г., Семенков К.В. Некоторые аспекты применения свободно распространяемых программных продуктов в АСУ ТП АЭС // Труды института проблем управления РАН. Том 13, 2001. С. 152-154.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: в [1, 8, 15] рассмотрена роль огибающей входящего потока для расчета параметров систем обслуживания с помощью теории детерминированных систем с очередями «Network calculus», приведено аналитическое решение оптимизационной задачи расчета линейной огибающей, приведен пример расчета параметров системы обслуживания на основе полученных огибающих; в [4] формализованы структурная схема базы данных СВБУ и схема создания объединенного проекта, представлено описание процедуры автоматической привязки графических элементов на мнемосхемах и описание системы подготовки данных; в [5, 36] дано общее описание человеко-машинного интерфейса СВБУ; в [10, 33] рассмотрены примеры структур языка; в [11] представлено описание работы с человеко-машинным интерфейсом в части системы контроля и управления электрической части; в [17] рассмотрена роль огибающей входящего потока в приложениях «Network calculus», приведено аналитическое решение оптимизационной задачи расчета линейной огибающей; в [32] осуществлен обзор зарубежных публикаций по теме диссертационной работы и выделены основные вопросы, возникающие при проектировании человеко-машинных интерфейсов; в [35] представлено практическое применение методики; в [37] выполнены численные расчеты; в [38] выделены причины необходимости применения свободно распространяемых программных продуктов в АСУТП.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

1. *Полетыкин А.Г., Байбулатов А.А., Промыслов В.Г.* Конфигуратор: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015661596 РФ; Зарег. 30.10.2015.
2. *Полетыкин А.Г., Байбулатов А.А., Зуенкова И.Н.* Программное обеспечение рабочей станции (ПОРС): Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610020 РФ; Зарег. 11.01.2016.

Научное издание

Байбулатов Артур Арсенович

**Исследование и разработка методов и средств сопровождения
информационной базы верхнего уровня АСУТП АЭС**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 5 июля 2018. Формат 60×90/16.

Усл. печ. л. 1,62. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ № 185.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова

Российской академии наук

117997,

ул. Профсоюзная, д. 65

Россия, Москва

<http://www.ipu.ru>