

DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS

M. N. Kalimoldaev, A. A. Abdildaeva, O. Zh. Mamyrbayev,
T. Duzbaev, Sh. Zh. Toybaeva, F. Galieva

Institute of Information and Computational Technologies
050010, Almaty, Republic of Kazakhstan

Nowadays, with the development of high-performance computer equipment, information systems are an effective means of addressing systemic problems. The basic foundation of any information system is a data model that describes the basic elements of the system, and domain. Software and hardware information system — a set of information technology, which includes software and hardware complexes of electric power information system, designed to automate the processes of collection, information processing, information storage, access to it, its presentation and dissemination. This article discusses the objects of complex information system for electric power systems. Currently, the major application areas include system relaying data communication systems and automation, automated dispatching and technological management of electric power facilities, as well as computer-aided calculation of energy resources. Automatic control of excitation (ARV) synchronous machines is one of the most effective ways to ensure the stability of power systems. However, the variety of possible options and modes even in a single grid pose significant obstacles to the development of the best means of ensuring sustainability. Thus, the use of ARVs to ensure stability in some cases may not be sufficient. Therefore, there is a need for the development of information systems. At the present stage of development of the system of methods of development of information system there is a strong tendency to create unified data models: information systems built on this principle, have a greater ability to integrate with other systems, they may be organized in a distributed network. One of the main methodological tools for building domain models data is object-oriented analysis and his interpretation of the language — the unified modeling language UML. The article presents the class diagram, activity, sequences created in the UML, which illustrate various aspects of the system. Provides global experience in developing information systems and comprehensive information system for the EPS scheme. Mathematical models of electric power systems. Math object is the essence of expressing some math category and component object computing. The objects are the elements of the power system, vectors and matrices. Every mathematical object has a set of mathematical signs, but by themselves they do not constitute a computational problem, and is a tool to solve it. When implementing methods of classes attached to each data structure, and their use is transferred to a virtual abstraction layer. In this case, using calls to virtual methods, sophisticated organized computing processes are realized on the highest levels of the class hierarchy of the signs to base class objects are called methods of those classes, to the objects which he actually indicate. Under the computational algorithms of objects refers to methods of computational mathematics and supporting information, which determines the conditions of their use of algorithmic. Each algorithm is designed to solve one problem, but it can be used as a sub-task to solve other problems. On the basis of a mathematical model of a numerical example that demonstrates sufficient efficacy of the proposed mathematical model. We give software screenshots. The program for the numerical integration of the differential equation using the Euler method. In the program, you can select one of two modes: with and without control.

Key words: information system, mathematical model, power system, UML.

References

1. Petrov V. N. Informacionnye sistemy. Spb.: Piter, 2003.
2. Mark D. A., MakGouen K. Metodologiya strukturnogo analiza i proektirovaniya SADT. M.: Metatehnolodiya, 1993.
3. Schildt G. C#: uchebnyi kurs. Spb.: Piter: K.: Izdatelskaya gruppa VNU, 2003.
4. Petzold H. Programirovanje dlya Microsoft Windows s C#. M.: Izdatelskiy torgovyi dom „Russkaya redakciya“. 2002.
5. Richter D. CLR via C#. Programirovaniye na platforme Microsoft.NET Framework 2.0 na yazyke C#. Master klass / perevod s angliyskogo. Spb.: Piter. 2007.
6. Hansen G. Basy Danyh: razrabotka i upravleniye. M.: Binom. 1999.
7. Connolly T. Basy danyh. proektirovaniye, realizasiya i soprovozhdeniye. Teoriya i praktika. M.: Vil'yams. 2000.
8. Mamikonov A. G., Kul'ba V. V. Sintez optimal'nyh modul'nyh sistem obrabotki danyh M.: Nauka, 1986.
9. Kobets B. B., Volkova I. O. Innovatsionnoye razvitiye electroenergetiki na base koncepcii Smart Grid. M.: IAC Energiya, 2010.
10. Rumbaugh D., Blaha M. UML 2.0 object-oriented modeling and development. 2nd edition. St. Petersburg: Peter. 2007.
11. Dyachenko R. A., Kabankov, Yuferova O. S., Terekhov V. V. Development of an automaton model of contactor // Scientific Readings named after Professor NE Zhukovsky. Materials of I All-Russian scientific-practical conference on Mechanics / Krasnodar Higher Military School of Pilots. Krasnodar KVVAUL. 2011. P. 32–37.
12. Popov D. B. Rasrabotka i realizaziya informacionno-vychislitel'noy sistemy dlya issledovaniya dinamicheskoi ustoichivosty electroenergeticheskikh system // Vychislitel'nye tehnologii. V. 13. 2008. P. 59–68.
13. Vayman M. Ya. Issledovaniye sistem, ustoichivyyh „v bol'shom“. M.: Nauka, 1981.
14. Bernas S., Zek Z. Matematicheskie modeli elementov electroenergeticheskikh sistem. M.: Energoisdat, 1982.
15. Korotkov V. A. Optimal'naya stabilizatsiya energosystem na osnove metoda funktsii Lyapunova // Trudy SibNIE. 1975. V. 26. P. 65–72.
16. Popov D. B. Rasrabotka programmno obespечения v nauchnykh podrazdeleniyah // Kompyuternoye modelirovaniye: Trudy mater. nauchno-teh. conf., SPb.: Isdatel'stvo Politehn. Universiteta. 2007. P. 250–258.
17. Maklakov S. V. BPWin и ERWin. CASE-sredstvo rasrabotky informacionnyh. M.: DIALOG-MIFI, 2000.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М. Н. Калимолдаев, А. А. Абдилдаева, О. Ж. Мамырбаев,
Т. Дузбаев, Ш. Ж. Тойбаева, Ф. Галиева

Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК,
050010, Республика Казахстан, г. Алма-Ата

УДК 004.94

В данной статье рассматриваются объекты информационной системы для электроэнергетических систем (ЭЭС). Приводятся мировой опыт разработки информационных систем и подробная схема информационной системы для ЭЭС. Рассматриваются математические модели электроэнергетических систем. На основе математической модели приводится численный пример, который показывает достаточную эффективность предложенного метода. В настоящее время к основным областям применения систем передачи данных можно отнести системы релейной защиты и автоматики, диспетчерского и автоматизированного технологического управления электроэнергетическими объектами, а также системы автоматизированного учета энергоресурсов. Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) синхронных машин является одним из наиболее эффективных способов обеспечения устойчивости работы энергосистем. Однако, многообразие возможных параметров и режимов даже в отдельно взятой энергосистеме создает значительные препятствия на пути разработки оптимальных средств обеспечения устойчивости. Таким образом, применение АРВ для обеспечения устойчивости в ряде случаев может оказаться недостаточным. Поэтому появляется необходимость в разработке информационных систем.

Ключевые слова: информационная система, математическая модель, электроэнергетическая система, UML.

Введение. В настоящее время, с развитием высокопроизводительных средств вычислительной техники, информационные системы являются эффективным средством решения системных проблем. Вопросам применения информационной системы в системном анализе посвящены работы М. К. Чиркова, С. П. Маслова, В. Н. Петрова, Д. Марка, К. МакГоуэна [1–3]. Вопросы разработки информационных систем различного назначения методами системного анализа с применением современных объектно-ориентированных языков программирования и технологий баз данных широко освещены в трудах Г. Шилдта, Ч. Петцольда, Дж. Рихтера, В. В. Кульбы, Г. Хансена, Т. Конолли, Д. Майо, М. Лутцем, В. В. Воронова, А. Г. Мамиконова, Т. Хальпина, Т. Моргана [4–9] и других. В меньшей степени это коснулось проблем создания специальных информационных систем для электроэнергетических комплексов.

Работа выполнена в рамках проекта № 3314/ГФ4 грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (2015–2017 гг.).

Отдельные аспекты, посвященные созданию и разворачиванию информационных систем электроэнергетических комплексов для технологий Smart Grid, рассмотрены в работах Б. Б. Кобеца, И. О. Волковой, Б. Ф. Вайнзихера [10] и др.

Базовой основой любой информационной системы является модель данных, описывающая основные элементы системы и предметной области.

Программно-технические средства информационной системы — совокупность информационных технологий, которая включает программные и технические средства информационной системы электроэнергетических комплексов, предназначенных для автоматизации процессов сбора, обработки информации, хранения информации, обеспечения доступа к ней, ее предоставления и распространения.

В настоящее время к основным областям применения систем передачи данных можно отнести системы релейной защиты и автоматики (РЗА), диспетчерского и автоматизированного технологического управления электроэнергетическими объектами (АСТУ), а также системы автоматизированного учета энергоресурсов.

На современном этапе развития системных методов разработки информационной системы существует устойчивая тенденция создания унифицированных моделей данных: информационные системы, построенные по такому принципу, обладают большими возможностями интеграции с другими подобными системами, могут организовываться в распределенные сети. Одним из основных методических средств построения моделей данных предметных областей является объектно-ориентированный анализ и его языковая интерпретация — унифицированный язык моделирования UML. Методика построения UML-моделей достаточно подробно рассмотрена в работах Г. Буча, Д. Рамбо, А. Джекобсана, М. Блаха, М. Фаулера, К. Скотта, К. Лармана, Д. Шмуллера, А. В. Леоненкова [11] и др. Комплексы UML-моделей данных предметной области объединяются в единые информационные модели, содержащие исчерпывающую информацию о статических и динамических свойствах системы. В области электроэнергетики существует базовая информационная модель, которая описывает модели данных для информационных систем электроэнергетических объектов.

1. Мировой опыт. Сегодня в области мировой электроэнергетики происходит настоящая революция. В США, Китае, Японии, Европе полным ходом идет процесс внедрения „интеллектуальных сетей“ — Smart Grid.

Минэнерго США определяет интеллектуальную сеть как полностью автоматизированную систему, обеспечивающую двусторонний поток электроэнергии и информации между энергообъектами повсеместно.

Евросоюз дает следующее определение. Smart Grid — это электрические сети, удовлетворяющие требованиям энергоэффективного и экономичного функционирования энергосистемы за счет скоординированного управления и при помощи двусторонних коммуникаций между элементами электросети, электростанциями, аккумулирующими источниками и потребителями.

Основными принципами, на которых базируется технология „Smart Grid“, являются наблюдаемость, автоматизация, контролируемость, интеграция.

По общему правилу концепция Smart Grid включает в себя следующие элементы:

- 1) обеспечение автоматизированного учета энергоресурсов;
- 2) интеллектуальная защита;
- 3) включение в сеть распределенной генерации энергии альтернативных источников;
- 4) использование электромобилей.

На сегодняшний день наиболее активно технология Smart Grid развивается и распространяется в Дании. Это связано с тем, что в этой стране значительное количество энергии поступает из альтернативных источников (20 % от общего объема энергии составляет ветряная).

В некоторых штатах США проводились исследования по вводу „интеллектуальных“ сетей. В результате снизились пиковые нагрузки на электросеть. В среднем на 10 % уменьшились счета за электричество, при этом его стоимость увеличилась на 15 %.

Однако, в сравнении с другими державами, США находится на втором месте по капиталовложениям в Smart Grid. На первом месте — Китай, на третьем — Япония.

В России и Казахстане наблюдается повышенный интерес к рассматриваемой технологии. Для обозначения данной технологии используется термин „активно-адаптивная сеть“, которую определяют как технологию самодиагностики, анализа и отчета, созданную для повышения надежности работы оборудования, возможности контролировать его на расстоянии.

По мнению экспертов, на первом этапе в России и Казахстане возможна реализация только принципов наблюдаемости, автоматизации. Это означает, что, в первую очередь, будут внедрены информационные технологии.

За внедрение активно-адаптивной сети в Казахстане отвечает Казахстанская компания по управлению электрическими сетями АО „КЕГОС“.

АО „КЕГОС“ как Системный оператор обеспечивает надежность функционирования ЕЭС Казахстана и оказывает системные услуги по передаче электроэнергии, ее диспетчеризации, услуги по организации балансирования производства/потребления электроэнергии. При этом тарифы на услуги АО „КЕГОС“ как субъекта естественной монополии регулируются АРЕМ РК.

Однако, проводимые мероприятия больше направлены на техническое перевооружение объектов электроэнергетики, модернизацию основных фондов. Но нужно понимать, что Smart Grid — это концепция инновационного преобразования электроэнергетики в целом, а не отдельных ее функциональных или технологических сегментов.

Необходимо отметить, что единой идеологии и понимания ожидаемых эффектов от внедрения Smart Grid в Казахстане пока что нет.

2. Постановка задачи. Рассмотрим общую математическую модель для электроэнергетических систем. Пусть управляемая динамическая система состоит из взаимосвязанных l -подсистем и уравнения возмущенного движения имеют вид:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = S_i, \quad \frac{dS_i}{dt} = w_i - K_i S_i - f_i(\delta_i), \quad w_i = \mathbf{C}_i^* \mathbf{x}_i, \quad i = \overline{1, l}, \quad (1)$$

$$\frac{d\mathbf{x}_i}{dt} = A_i \mathbf{x}_i + \mathbf{q}_i S_i + \mathbf{b}_i u_i + R_i(S_i, \mathbf{x}_i), \quad i = \overline{1, l} \quad (2)$$

где δ_i — угловые координаты; S_i — угловые скорости; $x_i - n_i$ — вектор состояния регулятора; w_i — управление воздействия на объекты управления; $K_i > 0$ — коэффициенты демпфирования объекта управления; $\mathbf{C}_i, \mathbf{q}_i, \mathbf{b}_i$ — постоянные n_i -мерные векторы для каждого i ; A_i — постоянная матрица порядка $n_i \times n_i$; A_i — управляющее воздействие регулятора, сформированное по принципу обратной связи; функции

$$\psi_i(\delta_i) = \sum_{k=1, k \neq i}^l p_{ik}(\delta_{i,k}), \quad \delta_{ik} = \delta_i - \delta_k, \quad i = \overline{1, l} \quad (3)$$

характеризуют влияния на i -ую подсистему, остальных $l - 1$ подсистем; $f_i(\delta_i)$ — непрерывно дифференцируемые периодические функции, удовлетворяющие условиям:

$$f_i(\delta_i) = f_i(\delta_i + 2\pi), \quad \forall \delta_i \in E^1, \quad \gamma_{0i} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f_i(\delta_i) d\delta_i \leq 0,$$

$$f_i(0) = 0, \quad \left. \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} \right|_{\delta_i=0} > 0, \quad f_i(\delta_{0i}) = 0, \quad \left. \frac{df_i(\delta_i)}{d\delta_i} \right|_{\delta_i=\delta_{0i}} < 0, \quad 0 < \delta_{0i} < 2\pi, \quad i = \overline{1, l}$$

Для каждого фиксированного i дифференциальные уравнения второго порядка (1) описывают процессы в i -м объекте управления (всего объектов управления), а векторное дифференциальное уравнение (2) определяет уравнение движения регулятора i -го объекта управления.

В частности, для электроэнергетических систем управления уравнения (1) описывают вращательное движение ротора i -го синхронного генератора, величина δ_i — разность углов вращения ротора при номинальной частоте и электродвижущей силе, вырабатываемой i -генератором в относительных единицах, функция $f_i(\delta_i)$ определяет мощность i -го генератора в относительных единицах, $\psi_i(\delta_i)$ — выражают взаимные влияния генераторов друг на друга через общую электрическую линию.

Уравнения (2) описывают динамику парового котла, паровой турбины автоматического регулятора частоты вращения и системы возбуждения i -го генератора, w_i — воздействия, вырабатываемого регулятором для стабилизации вращательного движения ротора i -генератора, u_i — управления, вырабатываемые компьютером с целью обеспечения синхронной работы всех генераторов, работающих на общую электрическую сеть.

Рассмотрим некоторые механические и электромеханические системы управления.

На рис. 1 приведена структурная схема энергосистемы, где Сервер — вычислительная машина для экономичного распределения нагрузок, K — котел, PK — регулятор котла, АРЧВ — автоматический регулятор частоты вращения, T — турбина, Γ — генератор, СВ — система возбуждения, l — число генераторов.

С генератором связаны три независимые системы управления. Первая из них — это система возбуждения, которая регулирует напряжение на шинах генератора. Вторая система — это система регулирования, которая контролирует частоту вращения турбины и определяет механическую мощность. Третья — центральная система управления, с помощью которой устанавливается соответствие между генерацией и нагрузкой и обеспечивается синхронная работа генераторов после аварийной ситуации с помощью управляющих воздействий.

Генераторы $\Gamma - 1, \dots, \Gamma - l$ — связаны через общую электрическую сеть и нагрузки. Уравнения возмущенного движения i -генератора в классической модели энергосистемы [13] имеют вид:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = w_{НОМ} S_i,$$

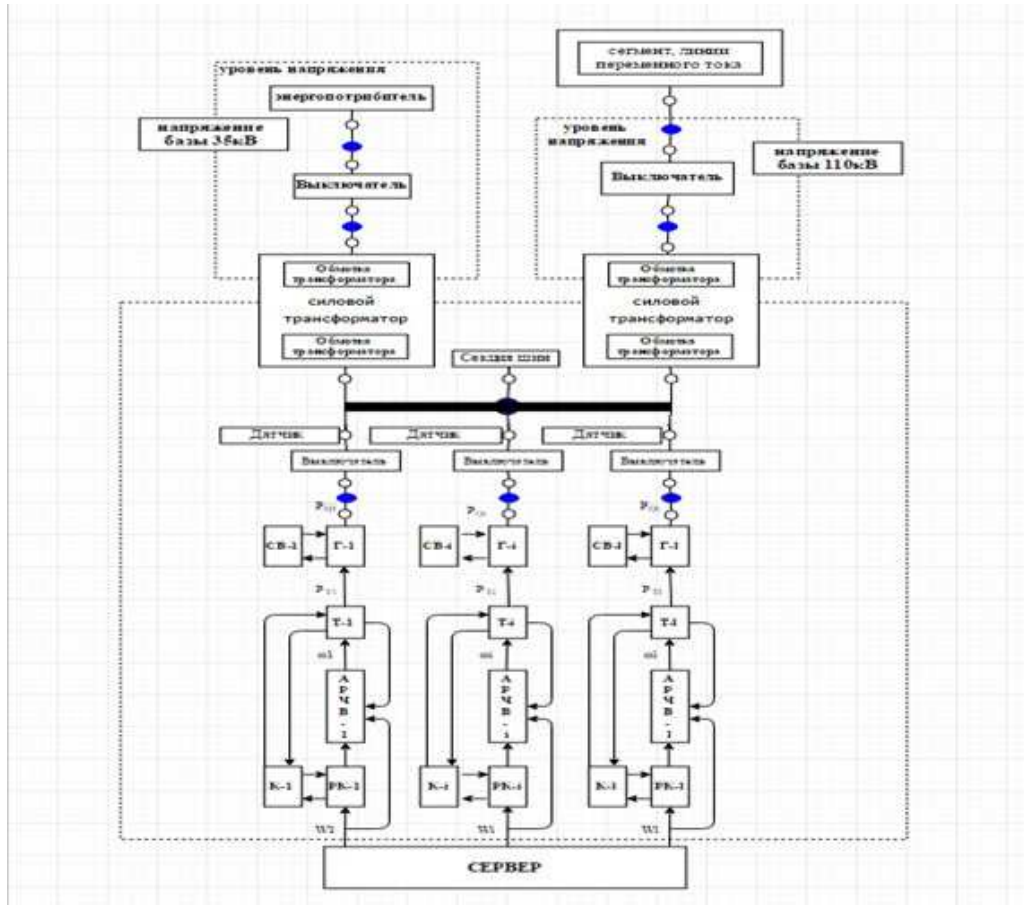


Рис. 1. Структурная схема энергосистемы

$$H_i \frac{dS_i}{dt} = -D_i S_i - f_i(\delta_i) - \sum_{j=1, j \neq i}^l f_{i,j}(\delta_i - \delta_j) + P_{T_i}, \quad i = \overline{1, l},$$

где $f_i(\delta_i) = P_i \sin(\delta_i^0 + \delta_i) - P_i \sin \delta_i^0$, P_i, δ_i^0 — постоянные,
 $f_{ij}(\delta_i - \delta_j) = P_{ij} \sin(\delta_{ij}^0 + \delta_i - \delta_j) - P_{ij} \sin \delta_{ij}^0$, $\delta_{ij}^0 = \delta_i^0 - \delta_j^0$, P_{ij}, δ_{ij}^0 — постоянные. Здесь δ_i — отклонение угла между э. д. с. генератора и напряжением на шинах i -го генератора от его значения в установившемся послеаварийном режиме, δ_i^0 , $S_i = (w_i - w_{НОМ}) / w_{НОМ}$, — отклонение угловой скорости (скольжение) i -го генератора, D_i — коэффициент демпфирования i -го генератора, P_{T_i} — отклонение мощности турбин от их значений P_{T_i} в установившемся послеаварийном режиме, H_i — момент инерции ротора i -го генератора, P_i, P_{ij} — электрическая мощность i -го генератора и внешний взаимный переток мощности между i -м и j -м генератором.

Связь между управляющим воздействием $w = w_i(t)$ и отклонением мощности i и турбины P_{T_i} в простейшем случае [14, 15] определяется дифференциальным уравнением

$$T_{ni} \frac{dP_{T_i}}{dt}, \quad T_{Si} \frac{d\mu_i}{dt} = -\mu_i - \frac{1}{\sigma_i} S_i + K_i w_i,$$

где $\mu_i = \mu_i(t)$ — относительное перемещение заслонки, перекрывающей доступ пара, T_{ni} — постоянная времени, представляющая собой инерцию пара в трубах пароперегревателя,

σ_i — коэффициент статизма i -го регулятора скорости (АРЧВ), K_i — коэффициент усиления i -канала центральной системы управления, управляющее воздействие зависит от фазового состояния всех генераторов (рис. 1.).

Математический объект представляет собой сущность, выражающую некоторую математическую категорию и составляющую объект вычислений. В качестве объектов рассматриваются элементы энергосистемы, векторы и матрицы. Каждый математический объект обладает набором математических признаков, однако сами по себе они не составляют вычислительной задачи и являются инструментальным средством для ее решения [16–17].

При реализации классов методы привязываются к каждой структуре данных, а их виртуальное использование переносится на абстрактный уровень. В этом случае, используя вызовы виртуальных методов, сложные организованные вычислительные процессы реализуются на самых верхних уровнях классовой иерархии, по указателям на объекты базового класса вызываются методы тех классов, на объекты которых они на самом деле указывают.

Под вычислительными алгоритмами объектов понимаются методы вычислительной математики и вспомогательная информация, определяющая условия их алгоритмического использования. Каждый алгоритм предназначен для решения одной проблемы, однако может использоваться как подзадача для решения других задач.

3. Моделирование предметной области. Если раньше пользователи отправляли запрос на изменение приложения обработки данных и были вполне довольны, когда получали новую программу через два года, то сегодня изменение программной среды должно выполняться в течение двух недель! Становится привычной разработка в шесть недель; есть даже концепция экстремального программирования (XP, extreme programming), поскольку любая система должна изменяться очень быстро.

Именно поэтому увеличивается потребность в использовании UML (Unified Modeling Language — унифицированный язык моделирования) — промышленного стандарта для нотации моделирования, применяемой при разработке объектно-ориентированных систем, и основной платформы для ускоренной разработки приложений (RAD, rapid application development).

Существует четыре фазы проекта: начальная фаза (inception), уточнение (elaboration), конструирование (construction) и ввод в действие (transition). На начальной фазе происходят сбор информации и разработка базовых концепций. В конце этой фазы принимается решение продолжать (или не продолжать) проект. В фазе уточнения детализируются варианты использования и принимаются архитектурные решения. Уточнение включает в себя некоторый анализ, проектирование, кодирование и планирование тестов. В фазе конструирования разрабатывается основная часть кода. Ввод в действие — это завершающая компоновка системы и установка ее у пользователей.

UML позволяет создавать несколько типов визуальных диаграмм. Rational Rose поддерживает разработку большинства этих моделей, а именно [18]:

- а) диаграммы Классов (Class) и другие диаграммы;
- б) диаграммы Деятельности (Activity);
- в) диаграммы Последовательности (Sequence).

Диаграммы иллюстрируют различные аспекты системы. У каждой диаграммы есть своя цель и своя аудитория. Например, диаграмма Деятельности показывает, как должны взаимодействовать объекты, чтобы реализовать некоторую функциональность системы.

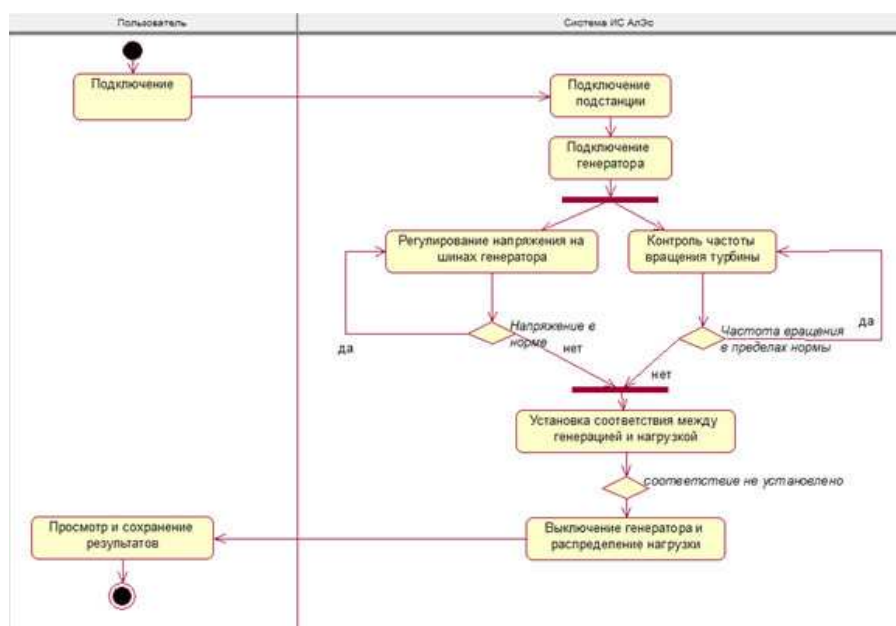


Рис. 2. Диаграмма распределения состояний деятельности между ролями

Далее рассмотрим представления функций организации в целом, то есть описания контекста системы и формирования основы для разработки диаграмм.

Следует внимательно подойти к вопросам анализа и сосредоточиться на том, что представляет собой проблема, а не на том, как она будет решаться. Состояние (state) — это некое положение в жизни объекта, при котором он удовлетворяет определенному условию, выполняет некоторое действие или ожидает события. Состояние объекта можно описать с помощью значений одного или нескольких атрибутов класса. Состояние объекта определяется при изучении атрибутов и связей, указанных для него. На рис. 2 представлена диаграмма распределения состояний деятельности между ролями.

На рис. 3 представлена диаграмма последовательности прецедента.

4. Моделирование классов. Объект (object) — это некая сущность реального мира или концептуальная сущность. Объект может быть чем-то конкретным, например грузовик Джо или мой компьютер, или концептуальным, как, например, химический процесс, банковская операция, торговый заказ, кредитная история или ставка прибыли.

Объектом называется концепция, абстракция или вещь с четко определенными границами и значением для системы. Каждый объект в системе имеет три характеристики: состояние, поведение и индивидуальность.

Состоянием (state) объекта называется одно из условий, в которых он может находиться. Состояние системы обычно меняется во времени и определяется набором свойств, называемых атрибутами (attribute), значений свойств и отношений между объектами.

Поведение (behavior) определяет, как объект реагирует на запросы других объектов и что может делать сам объект. Поведение реализуется с помощью набора операций (operation) для объекта.

Индивидуальность (identity) означает, что каждый объект уникален, даже если его состояние идентично состоянию другого объекта.

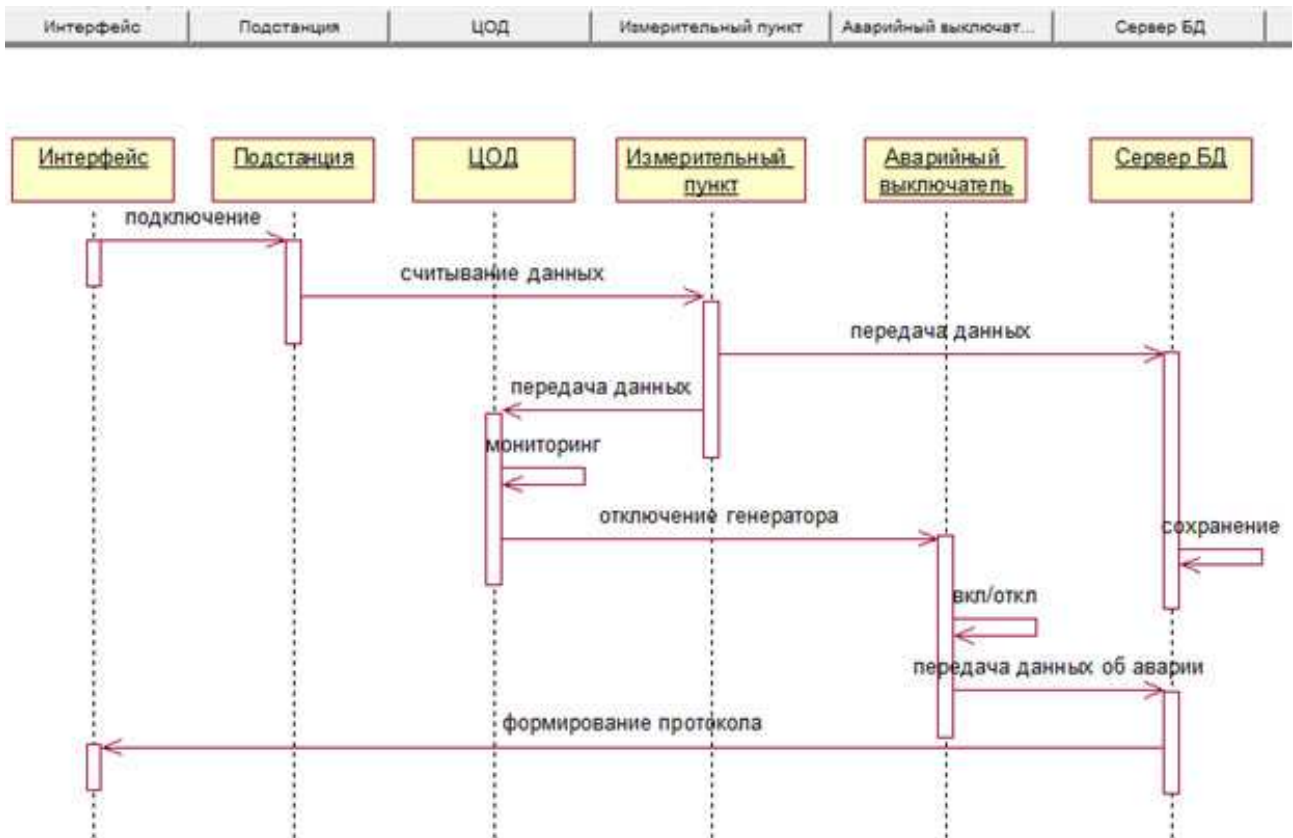


Рис. 3. Диаграмма последовательности прецедента

Класс (class) — это описание группы объектов с общими свойствами (атрибутами), поведением (операциями), отношениями с другими объектами и семантикой. Таким образом, класс представляет собой шаблон для создания объекта. На рис. 4 представлена диаграмма классов.

На рис. 5. представлена диаграмма развертывания системы.

5. Численный пример. Оптимальное управление движением двух- и многомашинной электроэнергетической системы. Одной из математических моделей, которая описывает переходные процессы в двух- и многомашинной электрической системе, является следующая система дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\delta_1}{dt} = S_1,$$

$$H_1 \frac{dS_1}{dt} = -E_1^2 Y_{11} \sin a_{11} - p_1 \sin(\delta_1 - a_1) - P_{12} \sin(\delta_{12} - a_{12}) + u_1,$$

$$\frac{d\delta_2}{dt} = S_2,$$

$$H_2 \frac{dS_2}{dt} = -E_2^2 Y_{22} \sin a_{22} - p_2 \sin(\delta_2 - a_2) - P_{21} \sin(\delta_{21} - a_{12}) + u_2,$$

$$\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2, \delta_{21} = \delta_2 - \delta_1,$$

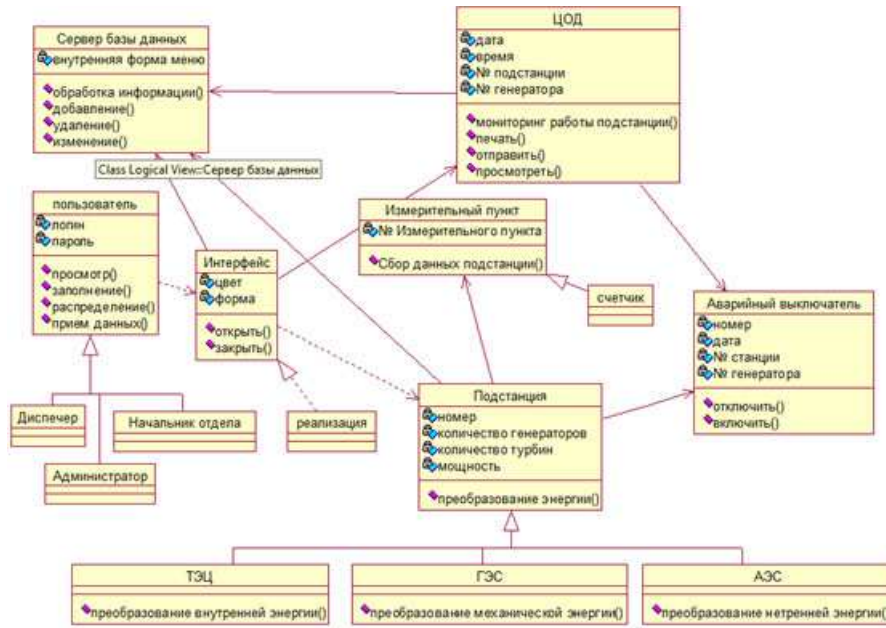


Рис. 4. Диаграмма классов

$$P_1 = E_1 U Y_{1,n}, P_{12} = E_1 E_2 Y_{12},$$

δ_i — угол поворота ротора i -го генератора относительно некоторой синхронной оси вращения; S_i — скольжение i -го генератора; H_i — постоянная инерции i -й машины; $u_i = P_{T_i}$ — механические мощности, которые подводятся к генератору; E_i — ЭДС i -й синхронной машины; Y_{ij} — взаимная проводимость i -й и j -й ветвей системы; $U = const$ — напряжение на шинах постоянного напряжения; $Y_{i,n+1}$ — характеризует связь (проводимость) i -го генератора с шинами постоянного напряжения; $D_i = const \geq 0$ — механическое демпфирование; a_{ii}, a_i, a_{ij} — постоянные величины, учитывающие влияние активных сопротивлений в статорных цепях генераторов. $a_{ji} = a_{ij}$.

Пусть переменные состояния и управление в установившемся послеаварийном режиме имеют следующие значения:

$$S_i = 0, \quad \delta_i = \delta_i^f, \quad u_i = u_i^f, \quad i = 1, 2.$$

Уравнение возмущенного движения:

$$\frac{d\delta_1}{dt} = S_1, \quad \frac{dS_1}{dt} = \frac{1}{H_1} [-f_1(\delta_1) - N_1(\delta) + M_1(\delta) + u_1],$$

$$\frac{d\delta_2}{dt} = S_2, \quad \frac{dS_2}{dt} = \frac{1}{H_2} [-f_2(\delta_2) - N_2(\delta) + M_2(\delta) + u_2],$$

где

$$f_1(\delta_1) = P_1 [\sin(\delta_1 + \delta_1^F - \alpha_1) - \sin(\delta_1^F - \alpha_1)],$$

$$f_2(\delta_2) = P_2 [\sin(\delta_2 + \delta_2^F - \alpha_2) - \sin(\delta_2^F - \alpha_2)],$$

$$N_1(\delta) = \Gamma_1 [\sin(\delta_{12} + \delta_{12}^F)],$$

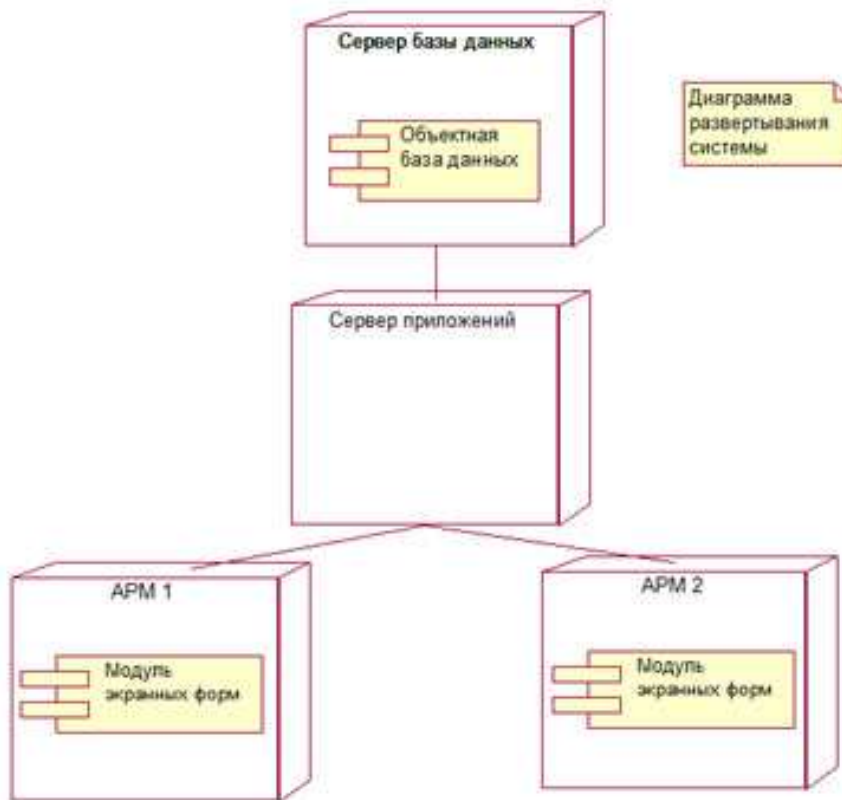


Рис. 5. Диаграмма развертывания

$$M_1(\delta) = \Gamma_2 [\cos(\delta_{12} + \delta_{12}^F)],$$

$$\delta_{12}^F = \delta_1^F + \delta_2^F \Gamma_1 = P_{12} \cos \alpha_{12}, \quad \Gamma_2 = P_{12} \sin \alpha_{12}.$$

Числовые данные системы

$$\alpha_1 = -0,052; \quad \alpha_2 = -0,104; \quad H_1 = 2135; \quad H_2 = 1256; \quad P_1 = 0,85;$$

$$P_2 = 0,69; \quad P_{12} = 0,9; \quad \delta_1^F = 0,827; \quad \delta_2^F = 0,828, \quad \alpha_{12} = -0,078;$$

и начальные условия:

$$\delta_1(0) = 0,18; \quad \delta_2(0) = 0,1; \quad S_1(0) = 0,001; \quad S_2(0) = 0,002.$$

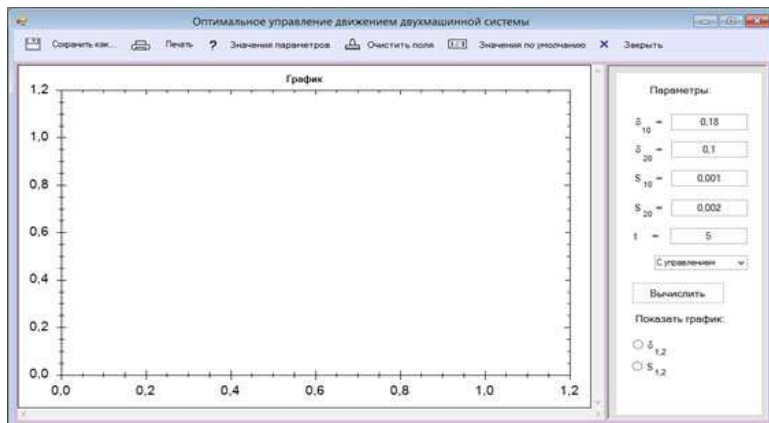


Рис. 6. Скриншот программы „Оптимальное управление движением двухмашинной системы“

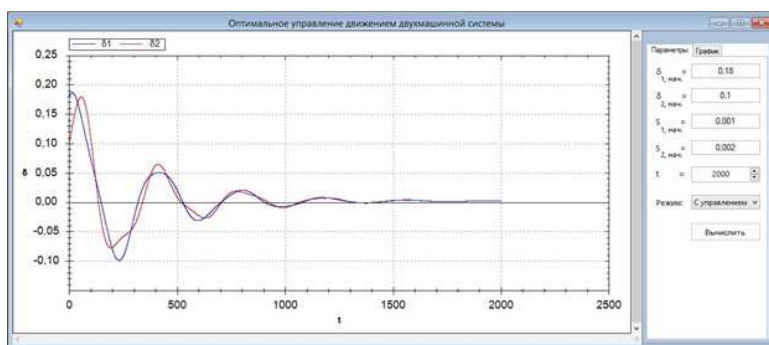


Рис. 7. Графики функции δ_1, δ_2 с управлением

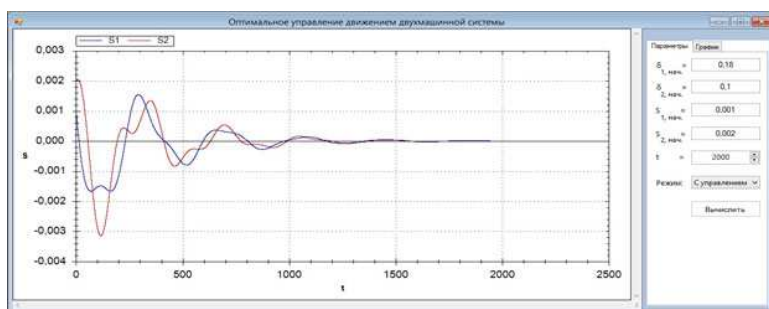


Рис. 8. Графики функции S_1, S_2 с управлением

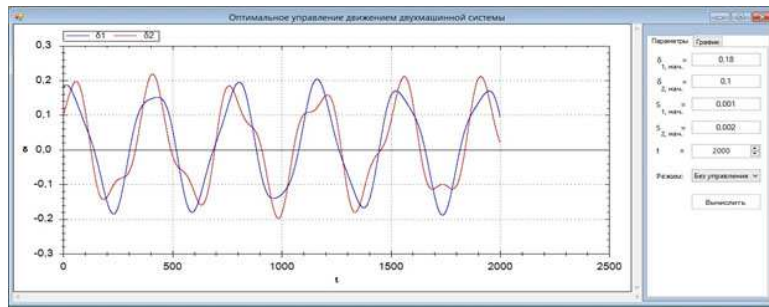


Рис. 9. Графики функции δ_1, δ_2 без управления

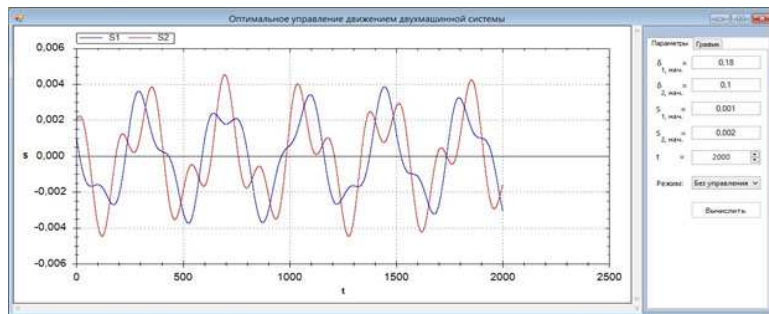


Рис. 10. Графики функции S_1, S_2 без управления

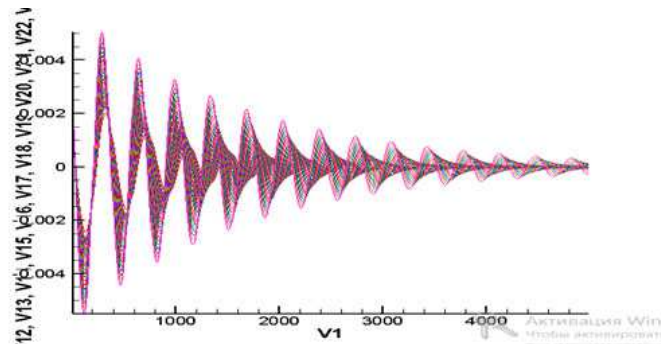


график функции δ_i при $i=30$

а)

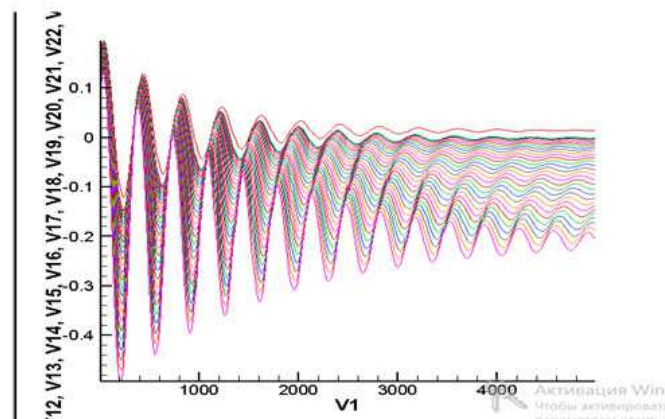


график функции S_i при $i=30$

б)

Рис. 11. Отображение результатов работы программы для 30 генераторов

Согласно теореме, оптимальное управление имеет вид:

$$u_1 = -\frac{1}{w_1} S_1 - M_1(\delta),$$

$$u_2 = -\frac{1}{w_2} S_2 - M_1(\delta),$$

где $w_1 = 0,1$, $w_2 = 0,1$.

Аналогично, математическая модель применена для 30 генераторов.

В программе для численного интегрирования дифференциального уравнения используется метод Эйлера. В программе можно выбрать один из двух режимов: с управлением и без управления. После выбора режима по нажатию кнопки „Вычислить“ программа проводит вычисление и отображает результаты в виде графика. Отображаемый график можно выбрать с помощью кнопок, расположенных внизу правой стороны окна программы.

На рис. 7–11 приведены скриншоты программы.

Заключение. В данной статье были рассмотрены объекты информационной системы для электроэнергетических систем. Приводится подробная схема информационной системы. Рассматриваются математические модели электроэнергетических систем. На основе математической модели решается численный пример, который показывает достаточную эффективность предложенного метода.

Список литературы

1. Чинков М. К., Маслов С. П. Вычислительная техника и вопросы кибернетики. СПб.: ЛГУ, 1990.
2. Петров В. Н. Информационные системы. СПб.: Питер, 2003.
3. Марк Д. А., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования SADT. М.: Метатехнология, 1993.
4. Шилдт Г. С#: учебный курс. СПб.: Питер: К.: Издательская группа ВНУ, 2003.
5. Пецольт Ч. Программирование для Microsoft Windows на С#. М.: Издательский торговый дом „Русская редакция“. 2002.
6. Рихтер Д. CLR via С#. Программирование на платформе Microsoft.NET Framework 2.0 на языке С#. Мастер класс / Перевод с англ. яз. СПб.: Питер, 2007.
7. Хансен Г. Базы данных: разработка и управление. М.: Бином. 1999.
8. Коннолли Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. М.: Вильямс. 2000.
9. Мамиконов А. Г., Кульба В. В. Синтез оптимальных модульных систем обработки данных. М.: Наука 1986.
10. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010.
11. Rumbaugh D., Blaha M. UML 2.0 object-oriented modeling and development. 2nd edition. St. Petersburg: Peter. 2007.
12. Dyachenko R. A. , Kabankov Y. A. , Yuferova O. S. , Terekhov V. V. Development of an automaton model of contactor // Scientific Readings named after Professor NE Zhukovsky. Materials of I All-Russian scientific-practical conference on Mechanics / Krasnodar Higher Military School of Pilots. Krasnodar KVVAVL. 2011. P. 32–37.

13. Попов Д. Б. Разработка и реализация информационно-вычислительной системы для исследования динамической устойчивости электроэнергетических систем // Вычислительные технологии. 2008. Т. 13. С. 59–68.
14. Вайман М. Я. Исследование систем, устойчивых в „большом“. М.: Наука, 1981.
15. Бернас С., Цек З. Математические модели элементов электроэнергетических систем. М.: Энергоиздат, 1982.
16. Коротков В. А. Оптимальная стабилизация энергосистем на основе метода функции Ляпунова // Труды СибНИИЭ. 1975. Вып. 26. С. 65–72.
17. Попов Д. Б. Разработка программного обеспечения в научных подразделениях // Компьютерное моделирование: Тр. Междунар. научно-техн. конф., СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. С. 250–258.
18. Маклаков С. В. ВРWin и ERWin. CASE-средства разработки информационных систем. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000.



Калимолдаев М. Н. член-корр. НАН РК, д-р физ.-мат. наук, профессор окончил факультет механики и прикладной математики КазГУ имени С. М. Кирова по специальности „Прикладная ма-

тематика“. В 1990 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему „Исследование динамики многомерных фазовых систем“. В 2000 г. защитил докторскую диссертацию на тему „Устойчивость и математическое моделирование нелинейных многомерных фазовых систем“. С 1980 по 1982 гг. работал инженером лаборатории экономико-математических методов Института математики и механики АН КазССР. С 1982 г. начинает заниматься в области теории управления. С этого момента и по настоящее время жизнь и деятельность М. Н. Калимолдаева неразрывно связаны с КазГУ. Здесь он прошел путь от старшего лаборанта, аспиранта, ассистента, старшего преподавателя, доцента кафедры теории управления до профессора кафедры информационных систем КазГУ имени аль-Фараби. Он является автором более 120 научных работ, в том числе четырех монографий и пяти учебных пособий для вузов и абитуриентов, 1 свидетельства о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности, 2 свидетельств о государственной регистрации прав на объект авторского права. В настоящее время является генеральным директором Института информационных и вычислительных технологий.

Его текущие исследовательские интересы включают разработку интеллектуальных информационных технологий и систем; систем распознавания образов и принятия решений; прогнозирования и управления сложными объектами, компьютерный перевод; разработку методов оптимальной стабилизации макроэкономических моделей с учетом научно-технологического прогресса; разработку логических исчислений, описывающих поведение информационных систем; разработку и исследование средств обеспечения информационной безопасности, математическое моделирование.

Corresponding member of NAS RK, Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor **Kalimoldayev Maksat Nuradilovich**. In 1975–1980 studied at the faculty of Mechanics and Applied mathematics of the Kazakh State University named after S. M. Kirov on the specialty „Applied mathematics“. In 1990 he successfully defended his thesis entitled „Study of the dynamics of multidimensional phase systems.“ In 2000 he defended his doctoral dissertation on the topic „Sustainability and mathematical modeling of nonlinear multidimensional phase systems“. From 1980 to 1982 worked as an engineer in the laboratory of economic and mathematical methods of the Institute of Mathematics and Mechanics, Academy of Sciences of the Kazakh SSR. From 1982 he began to study in the field of control theory. From that moment to the present MN Kalimoldayev’s life and work are inextricably connected with the Kazakh State University. Here he was promoted from a

senior laboratory assistant, a graduate student, an assistant, a senior lecturer, an associate professor of management theory to professor of the Department of Information Systems Kazakh National University named after Al-Farabi. He is the author of over 120 scientific publications, including four books and five textbooks for schools and students, 1 certificate of state registration of intellectual property, 2 certificates of state registration of rights to the object of copyright. He is currently a Director General of the Institute of Information and Computational Technologies.

His current research interests include development of intelligent information technologies and systems; pattern recognition systems and decision-making; forecasting and management of complex objects, computer translation; development of methods for optimal stabilization of macroeconomic models, taking into account scientific and technological progress; development of logical calculi, describing the behavior of information systems; development and research of information security, mathematical modeling.

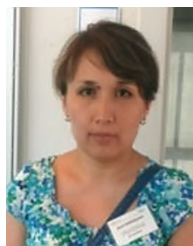
Мамырбаев О. Ж. окончил физико-математический факультет Алматинского государственного университета имени Абая. В 2014 году успешно защитил диссертацию доктора PhD. В 2000–2015 гг. работал в Казахском национальном педагогическом университете



имени Абая. В настоящее время является заместителем генерального директора Института информационных и вычислительных технологий. Его текущие исследовательские интересы включают разработку интеллектуальных информационных технологий и систем; систем распознавания образов и принятия решений; прогнозирования и управления сложными объектами, машинный перевод.

O. Zh. Mamyrbayev graduated from the Physics and Mathematics Faculty of the Almaty State University named after Abai. In 2014 he successfully defended his Doctor thesis PhD. 2000-2015 He worked at Kazakh National Pedagogical University named after Abai. He is currently a Deputy Director General of the Institute of

Information and Computational Technologies. His current research interests include development of intelligent information technologies and systems; pattern recognition systems and decision-making; forecasting and management of complex objects, computer translation.



Абдилдаева А. А. окончила физико-математический факультет Алматинского государственного университета имени Абая. В 2007–2014 гг. работала в Казахском национальном педагогическом университете имени Абая. В настоящее время работает научным сотрудником в лаборатории „Математической кибернетики и вычислительных технологий“ Института информационных и вычислительных технологий. Ее текущие исследовательские интересы — разработка информационных систем и технологий, теория управления, математическое моделирование.

A. A. Abdildaeva graduated from the Physics and Mathematics Faculty of the Almaty State University named after Abai. From 2007 to 2014 she worked at Kazakh National Pedagogical University named after Abai. Currently is working as a researcher in the laboratory of „Mathematical Cybernetics and computing technologies“ at the Institute of Information and Computational Technologies. Her current research interests include development of information systems and technologies, control theory, mathematical modeling.



Дузбаев Т. окончил механико-математический факультет Казахского национального университета имени аль-Фараби. С 2014 г. работает младшим научным сотрудником в лаборатории „Математической кибернетики и вычислительных технологий“ Института информационных и вычислительных технологий. Его текущие исследовательские интересы – программирование, математическое моделирование, теория управления, разработка информационных систем.

Duzbaev T. graduated from the Mechanics and Mathematics Faculty of Al-Farabi Kazakh

National University. Since 2014 he has been working as a junior researcher in the laboratory of „Mathematical Cybernetics and computing technologies“ Institute of Information and Computational Technologies. His current research interests include programming, mathematical modeling, control theory, development of information systems.



Тойбаева Ш. Д. окончила факультет Информационных технологий Казахского национального технического университета имени К. И. Сатпаева. В 2005–2014 гг. работала в университете Туран. В настоящее время работает научным сотрудником в лаборатории „Информационной безопасности“ Института информационных и вычислительных технологий. Ее текущие исследовательские интересы — исследование и разработка автоматизированных систем, системы менеджмента качества, математическое моделирование.

Toybayeva Sh. D. graduated from the Information Technology Faculty of the Kazakh National Technical University named after K. I. Satpaev. From 2005 to 2014 she worked at Turan University. Currently is working as a researcher in the laboratory of „Information security“ at

the Institute of Information and Computational Technologies. Her current research interests — research and development of automated systems, quality management systems, mathematical modeling.



Галиева Ф. М. окончила механико-математический факультет Казахского национального университета имени аль-Фараби. В настоящее время работает инженером в лаборатории „Математической кибернетики и вычислительных техно-

логий“ Института информационных и вычислительных технологий. Ее текущие исследовательские интересы — программирование, математическое моделирование, теория управления, разработка информационных систем.

Galiyeva F. M. She graduated from the Mechanics and Mathematics Faculty of Al-Farabi Kazakh National University. She is currently working as an engineer in the laboratory of „Mathematical Cybernetics and computing technologies“ Institute of Information and Computational Technologies. Her current research interests include programming, mathematical modeling, control theory, development of information systems.

Дата поступления — 20.08.2016