

Департамент судостроительной промышленности  
и морской техники  
Акционерное общество  
«Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора»

# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

## CONTROL AND INFORMATION PROCESSING SYSTEMS

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Выпуск 2(49) июнь

Санкт-Петербург  
2020

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЛЕЙ И ОБЪЕКТОВ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Л.Г. Бакуменко, А.Н. Дядик, М.В. Ларионов, С.Н. Сурин.** Имитационное моделирование работы электрохимического генератора

**И.С. Волков, А.В. Ильин.** Математическая модель топливного тракта судовой котельной установки

**Я.В. Манин, В.В. Овчеренко.** Оценка величины изменения осадки ПАТЭС при сезонных колебаниях гидрологии воды устьев сибирских рек

**М.В. Соловьев.** Метод сквозного проектирования корабельных автоматизированных систем управления расходом питательной воды с малощумными регулирующими органами

### **АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ**

**В.А. Гулый, Д.Р. Ионин.** Единый алгоритм управления мощностью корабельных главных парозенергетических установок на ядерном и органическом топливе

**С.И. Линьков, В.П. Савин.** Оценка параметров математической модели пусковой аппаратуры СУЗ по экспериментально определенным динамическим характеристикам

**Ю.М. Пахоменков.** О применении конфлюэнтного анализа данных при градуировке измерительных каналов

**П.А. Трубицын.** Вызов функций *SCADA CITECT* в проектах с резервированием

### **CALS-ТЕХНОЛОГИИ**

**Р.А. Мыскин, Д.А. Уланов.** К вопросу об актуальности методического обеспечения деятельности предприятия приборостроительной отрасли в части определения плановых и фактических трудозатрат по разработке изделий военной техники

### **ИСПЫТАНИЯ**

**А.А. Берденников.** Особенности имитационного моделирования работы многоагрегатной электрогенераторной установки

## CONTENTS

### AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR SHIPS AND CIVILIAN OBJECTS

**L.G. Bakumenko, A.N. Dyadik, M.V. Larionov, S.N. Surin.** Simulation modeling of electrochemical generator operation

**I.S. Volkov, A.V. Il'in.** Mathematical model of fuel path of a shipboard boiler plant

**Ya.V. Manin, V.V. Ovcherenko.** Estimation of variation value of FNHPP draught during seasonal fluctuations of water hydrology at the mouths of Siberian rivers

**M.V. Solovyev.** Method of end-to-end design of shipboard automated control systems of feed water flow with low-noise regulating units

### HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTIONS

**V.A. Gulyi, D.R. Ionin.** Common power control algorithm of shipboard main steam power plants running on nuclear and organic fuel

**S . I . L i n k o v , V . P . S a v i n .** Estimation of parameters of mathematical model of CPS starting equipment by experimentally determined dynamic characteristics

**Yu.M. Pakhomenkov.** On the use of confluence analysis of data during calibration of measurement channels

**P.A. Trubitsyn.** Calling the SCADA CITECT functions in the projects with redundancy

### CALS-TECHNOLOGIES

**R.A. Myskin, D.A. Ulanov.** Regarding the topicality of methodological support of activity of an instrumentation manufacturing enterprise with regard to determination of planned and actual labor input for development of military equipment articles

### TESTS

**A.A. Berdennikov.** Special aspects of simulation modelling of operation of a multimachine electric generator set

УДК 621.311.25; 621.039

**Ключевые слова:** топливный элемент (ТЭ); водород; кислород; расход; модель; клапан; привод; регулятор; энергетическая установка (ЭУ)

**Имитационное моделирование работы электрохимического генератора.**

Бакуменко Л.Г., Дядик А.Н., Ларионов М.В., Сурин С.Н. //Системы управления и обработки информации: науч.- техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора» СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 5–12.

В статье представлено имитационное моделирование работы электрохимического генератора в составе энергетической установки. Рассмотрено блочное моделирование отдельных составляющих ЭХГ, в частности, топливных элементов, систем подачи водорода и кислорода по тракту от регулирующих клапанов до топливных элементов. Имитационные модели отдельных элементов ЭХГ позволяют рассчитывать динамические характеристики энергоустановки и создавать алгоритмы управления клапанами подачи водорода и кислорода в переходных режимах. Теоретические зависимости для определения массовых расходов реагентов, температур и давлений приведены для идеальных в термодинамическом плане сред.

УДК 681.182.3

**Ключевые слова:** математическая модель, котельная установка, топливный тракт

**Математическая модель топливного тракта судовой котельной установки.**

Волков И.С., Ильин А.В. //Системы управления и обработки информации: науч.- техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 13–27.

В статье рассмотрены вопросы моделирования топливного тракта котельной судовой установки для стендовых испытаний локальной системы управления. Определены основные элементы топливного тракта котла и их статические характеристики. Проведён синтез математической модели и представлены результаты моделирования.

УДК 629.58

**Ключевые слова:** плавучая атомная теплоэлектростанция, ПАТЭС, осадка, обжатие корпуса, плотность, температура, солёность, сила поддержания

**Оценка величины изменения осадки ПАТЭС при сезонных колебаниях гидрологии воды устьев сибирских рек.** Манин Я.В., Овчеренко В.В. //Системы управления и обработки информации: науч.- техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 28–31.

В статье приводится расчет влияния сезонных изменений гидрологии воды на изменение осадки корпуса плавучей атомной теплоэлектростанции при нахождении её в устье сибирских рек. Приведен расчет изменения силы поддержания и величины изменения осадки ПАТЭС в зависимости от плотности и температуры воды в прибрежной зоне. Сделан вывод о степени влияния вышеуказанных факторов на величину изменения осадки корпуса ПАТЭС.

УДК 004.94

**Ключевые слова:** системы управления, регулирующие органы, математическое моделирование, малозумность, *Simhydraulics Matlab*, *Ansys*, вычислительная гидродинамика, ВШХ, ГДШ, электрогидравлическая аппаратура

**Метод сквозного проектирования корабельных автоматизированных систем управления расходом питательной воды с малозумными регулирующими органами.** Соловьев М.В. //Системы управления и обработки информации: науч.- техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 32–40.

В статье рассмотрено применение современных методов численного моделирования в области проектирования корабельных автоматизированных систем управления расходом питательной воды с малозумными регулирующими органами.

Предложенный метод сквозного проектирования позволяет вывести работу в данном направлении на новый уровень и оформить в виде целостного метода проек-

тирования корабельных автоматизированных систем управления с малошумными регулирующими органами.

В качестве одного из наиболее подходящих средств решения поставленных задач в работе рассматривается связка программных комплексов *Simhydraulics Matlab*, *Ansys (Fluent, Mechanical)* и *Solid Works*. Наряду с математическими моделями элементов системы управления в работе предложены акустические модели элементов, которые учитываются при моделировании переходных процессов в системе.

На основе полученных результатов исследования комплексной математической модели предлагаются дополнительные критерии оценки качества систем управления.

УДК 621.039

**Ключевые слова:** математическое моделирование, проектирование, наладка систем управления и защиты, динамические характеристики аппаратуры, инструментальное измерение, математическая обработка переходных процессов, пусковая аппаратура, переходная функция «обратного» периода, постоянные времени тракта вычисления «обратного» периода

**Оценка параметров математической модели пусковой аппаратуры СУЗ по экспериментально определенным динамическим характеристикам.** Линьков С.И., Савин В.П. //Системы управления и обработки информации: науч.- техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 41–50.

Все более широкое внедрение математического моделирования является одной из основных тенденций при проектировании и наладке систем управления и защиты (СУЗ). Одной из задач стендовых испытаний системы является определение динамических характеристик ее аппаратуры. Это особенно важно для каналов контроля параметров, обеспечивающих аварийную защиту реакторной установки. Наиболее применяемый способ оценки динамических характеристик электронных устройств данного назначения заключается в экспериментальном измерении и последующей математической обработке переходных функций. В статье предлагается в расчетно-экспериментальная методика определения постоянных времени тракта пусковой аппаратуры СУЗ.

УДК 621.125:621.039-52

**Ключевые слова:** корабельная пароэнергетическая установка, паропроизводящая установка, главный турбоагрегат, система автоматического управления, регулирование, частота вращения, давление пара, мощность, координаты, небаланс, астатизм, алгоритм, переменная структура

**Единый алгоритм управления мощностью корабельных главных пароэнергетических установок на ядерном и органическом топливе.** Гулый В.А. Ионин Д.Р. //Системы управления и обработки информации: науч.- техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 51–56.

В статье дается анализ алгоритма управления корабельными главными пароэнергетическими установками, работающими на ядерном и органическом топливе, с регулированием паропроизводительности по «небалансу» генерируемого и полезно потребляемого в установке пара с целью соотношения этого алгоритма с имеющимися распространение алгоритмами регулирования паропроизводительности по отклонениям от заданных значений частоты вращения главного турбоагрегата и давления пара в главном паропроводе.

УДК 519.26

**Ключевые слова:** автоматика, параметрическое оценивание, градуировка, конфлюэнтный анализ, оптимизация

**О применении конфлюэнтного анализа данных при градуировке измерительных каналов.** Пахоменков Ю.М. //Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 56–62.

Рассмотрены вопросы градуировки измерительных каналов систем управления с применением методов конфлюэнтного анализа. Исследован алгоритм конфлюэнтного анализа применительно к линейной градуировочной характеристике. Представлены результаты и практические рекомендации по его применению.

УДК 629.12, 681.518

**Ключевые слова:** программа, функции управления, микроконтроллер, резервирование, передача данных

**Вызов функций SCADA CITECT в проектах с резервированием.** Трубицын П.А. //Системы управления и обработки информации: науч.- техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 63–66.

Рассматривается способ вызова пользовательских функций при обмене с внешними данными только с активного сервера. Приводится пример анализа активности серверов с учетом сетевых имен компьютеров, использующих SCADA CITECT. Приводится способ надежного запуска проектов с заданной задержкой без выхода в среду Windows.

УДК 681.3.06

**Ключевые слова:** оценка, военная техника, нормативы, трудоемкость, государственный оборонный заказ, системы управления техническими средствами, ВМФ, военные представительства МО РФ

**К вопросу об актуальности методического обеспечения деятельности предприятия приборостроительной отрасли в части определения плановых и фактических трудозатрат по разработке изделий военной техники.** Мыскин Р.А., Уланов Д.В. //Системы управления и обработки информации: науч.- техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 67–71.

Рассмотрен вопрос актуальности наличия методического обеспечения деятельности предприятия приборостроительной отрасли в части определения плановых и фактических трудозатрат по разработке изделий военной техники, поставляемой в обеспечение выполнения государственного оборонного заказа.

УДК 621.313.12.001.57

**Ключевые слова:** генераторный агрегат, первичный двигатель, параллельная работа, нагрузка, обменная мощность, частота вращения, имитационная модель

**Особенности имитационного моделирования работы многоагрегатной электрогенераторной установки.** Берденников А.А. //Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб. /АО «Концерн «НПО «Аврора». СПб. 2020. Вып. 2(49). С. 72–80.

Разработана имитационная модель многоагрегатной электрогенераторной установки, особенностью которой является учет прераспределения нагрузки между совместно работающими генераторными агрегатами (ГА) в зависимости от потребляемой мощности, а также от статических и динамических характеристик ГА и законов управления ими.

UDC 621.311.25; 621.039

**Key words:** fuel element (FE); hydrogen; oxygen; flow rate; model, valve; actuator; regulator, power plant (PP)

**Simulation modeling of electrochemical generator operation.** L.G. Bakumenko, A.N. Dyadik, M.V. Larionov, S.N. Surin // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 5–12.

The article presents simulation modeling of operation of electrochemical generator as part of a power plant. Modular modeling of separate components of an ECG is considered; in particular, for fuel elements, hydrogen and oxygen supply systems via duct from regulating valves to fuel elements. Simulation models of individual components of an ECG allow to calculate dynamic parameters of a power plant and to create control algorithms for hydrogen and oxygen supply valves in transient modes. Theoretic dependencies for determination of mass flow rates of chemical reagents, temperature and pressure parameters are provided for thermodynamically perfect mediums.

UDC 681.182.3

**Key words:** mathematical model; boiler plant; fuel path

**Mathematical model of fuel path of a shipboard boiler plant.** I.S. Volkov, A.V. Il'in // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 13–27.

The article examines the issues of modeling a fuel path of a shipboard boiler plant for bench scale tests of a local control system. Basic elements of a boiler fuel path and their static characteristics are determined. Synthesis of a mathematical model is conducted and its results are presented.

UDC 629.58

**Key words:** floating nuclear heat and power plant; FNHPP; draught; hull compression; density; temperature; salinity; buoyancy force

**Estimation of variation value of FNHPP draught during seasonal fluctuations of water hydrology at the mouths of Siberian rivers.** Ya.V. Manin, V.V. Ovcherenko // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 28–31.

The article presents the estimation of influence of seasonal hydrology fluctuations on changing draught of floating nuclear heat and power plant's hull while staying at the mouths of Siberian rivers. Dynamical analysis of buoyancy force and variation value of FNHPP draught, depending on density and temperature of water in the coastal zone, is performed. Conclusion is made regarding the degree of impact of the above-mentioned factors on changing draught of the FNHPP hull.

UDC 004.94

**Key words:** control systems; regulating units; mathematical modelling; quietness; Simhydraulics Matlab; Ansys; computational hydrodynamics; vibronoise characteristics; hydrodynamic noise; electrohydraulics

**Method of end-to-end design of shipboard automated control systems of feed water flow with low-noise regulating units.** M.V. Solovyev // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 32–40.

The article considers the use of modern techniques of computational modelling in the field of designing the shipboard automated control systems of feed water flow with low-noise regulating units.

The proposed method of end-to-end design allows to take the work in this area to the next level and to arrange it as a whole method of designing the shipboard automated control systems with low-noise regulating units.

As one of the most convenient means of carrying out the assigned tasks, the article examines the combination of software packages Simhydraulics Matlab, Ansys (Fluent, Mechanical) and Solid Works. Along with mathematical models of control system elements,

the acoustic models of elements are proposed, which are taken into consideration when modelling transient processes in a system.

On the basis of the obtained results of studying the integrated mathematical model, additional criterions for assessment of control systems' quality are offered.

UDC 621.039

**Key words:** mathematical modelling; designing; control and protection system (CPS) debugging; dynamic characteristics of equipment; instrumental measurement; mathematical processing of transient processes, starting equipment; transient function of inverse period function; time constants of inverse period computation path

**Estimation of parameters of mathematical model of CPS starting equipment by experimentally determined dynamic characteristics.** S.I. Linkov, V.P. Savin // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 41–50.

Expanding implementation of mathematical modelling is one of the main trends in designing and debugging of control and protection systems (CPS). One of the tasks of bench tests of a system is determination of dynamic characteristics of its equipment. This is particularly important for parameter control channels, which enable emergency protection of a reactor plant. The most frequently used method for estimation of dynamic characteristics of electronic appliances of such designation consists in experimental measurement and further mathematical processing of transient functions. The article offers computational and experimental methods for determination of time constants of CPS starting equipment path.

UDC 621.125:621.039-52

**Key words:** shipboard steam power plant; steam supply system; main turbine-generator set; automatic control system; regulation; rotation speed; steam pressure; power; coordinates; imbalance; astaticism; algorithm; variable structure

**Common power control algorithm of shipboard main steam power plants running on nuclear and organic fuel.** V.A. Gulyi, D.R. Ionin // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 51–56.

The article analyses control algorithm of shipboard main steam power plants running on nuclear and organic fuel, with regulation of steam-production capacity in respect of imbalance of generated steam and steam, which is usefully consumed in a plant, with the purpose to compare this algorithm with the widespread algorithms of steam-production regulation depending on deviations from fixed values of rotation speed of the main turbine-generator set and steam pressure in the main steam pipeline.

UDC 519.26

**Key words:** automatics; parametric estimation; calibration; confluence analysis; optimization

**On the use of confluence analysis of data during calibration of measurement channels.** Yu.M. Pakhomenkov // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P.56–62.

The issues are considered related to calibration of measurement channels of control systems with the use of the methods of confluence analysis. Algorithm of confluence analysis is studied in respect to a linear calibration characteristic. Results and practical recommendations for its use are presented.

UDC 629.12, 681.518

**Key words:** program; control functions; microcontroller; redundancy; data transmission

**Calling the SCADA CITECT functions in the projects with redundancy.** P.A. Trubitsyn // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern



Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 63–66.

The issue is studied of calling the user-defined functions during exchange with external data from the active server only. Example of analysis of activity of servers is provided with consideration to the network names of computers that use SCADA CITECT. The method is presented for reliable starting of projects with timed delay, without entering the Windows medium.

UDC 681.3.06

**Key words:** estimation; military equipment, regulatory requirements, labour required, state defense order, control systems of technical facilities, Navy, quality control agency of the MoD of the RF

**Regarding the topicality of methodological support of activity of an instrumentation manufacturing enterprise with regard to determination of planned and actual labor input for development of military equipment articles.** R.A. Myskin, D.A. Ulanov // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 67–71.

The article considers the issue of topicality of methodological support of activity of an instrumentation manufacturing enterprise with regard to determination of planned and actual labor input for development of military equipment articles, supplied for fulfillment of state defense order.

UDC 621.313.12.001.57

**Key words:** generator unit, prime engine, parallel operation, load, interchange power, rotation speed, simulation model

**Special aspects of simulation modelling of operation of a multimachine electric generator set.** A.A. Berdennikov // Control and Data Processing Systems: Scient. & Techn. Collect. /Concern Avrora Scientific and Production Association JSC. St. Petersburg. 2020. Issue 2(49). P. 72–80

Simulation model of a multimachine electric generator set is developed, which specific feature is metering of redistribution of load between jointly operating generator units, depending on power consumption, as well as on static and dynamic characteristics of generator units and their control laws.