

МРНТИ 50.49.37

О.А. Баймуратов<sup>1</sup>, Б.Р. Кангожин<sup>2</sup>, С.С. Даутов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Университет им. Сулеймана Демиреля, г. Каскелен, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби

<sup>3</sup> Алматинский Транспортный колледж КазАТК имени М. Тынышпаева

## О ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ И ИХ ВОЗМОЖНОСТЯХ/ОСОБЕННОСТЯХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Аннотация.** Предотвращение энергетических потерь и оптимизация управления энергией жизненного цикла продукции имеют первостепенное значение для борьбы с возросшим глобальным неблагоприятным воздействием на окружающую среду. Ожидается, что экономия энергии будет достигнута как за счет повышения энергоэффективности отдельных производственных процессов, так и за счет использования эффективных систем энергетического мониторинга и управления. Решение задачи о своевременном обнаружении потерь и ее правильное устранение на многих производственных предприятиях затруднительно из-за недостаточной осведомленности о потреблении энергии. Одним из решений данного вопроса является изучение и развитие функциональных возможностей программно-аппаратных измерительных комплексов (ПАИК) и их назначение. В данной статье представлены примеры и возможности ПАИК-ов с целью формирования модели ПАИК-а энергоэффективности.

**Ключевые слова:** ПАИК энергоэффективности, разработка программного обеспечения, энергетические потери, оптимизация управления, энергоемкие производственные системы.

\*\*\*

**Андатпа.** Энергетикалық шығындардың алдын алу және өнімнің өмірлік цикліндегі энергияны басқаруды оңтайландыру, қоршаған ортаға жаһандық қолайсыз әсердің өсуіне кедергі болу үшін өте маңызды. Энергияны үнемдеуге жекелеген өндірістік процестердің энергия тиімділігін арттыру арқылы да, энергетикалық мониторинг пен басқарудың тиімді жүйелерін пайдалану арқылы да қол жеткізіледі деп күтілуде. Шығындарды уақтылы анықтау және оны көптеген өндірістік кәсіпорындарда дұрыс жою мәселесі күрделі, өйткені энергияны тұтыну туралы ақпарат толық емес. Осы мәселені шешудің бірі бұл бағдарламалық-аппараттық өлшеу кешендерінің функционалдық мүмкіндіктерін зерттеу және дамыту. Бұл мақалада энергия тиімділігін анықтайтын моделін қалыптастыру мақсатында бағдарламалық-

аппараттық өлшеу кешендерінің мысалдары мен мүмкіндіктері келтірілген.

**Түйін сөздер:** энергия тиімділігінің бағдарламалық-аппараттық өлшеу кешендері, бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу, энергия шығыны, бақылауды оңтайландыру, энергияны көп қажет ететін өндірістік жүйелер.

\*\*\*

**Abstract.** Preventing energy losses and optimizing product lifecycle energy management are of paramount importance to address the increased global adverse environmental impacts. It is expected that energy savings will be achieved both by improving the energy efficiency of individual production processes, and through the use of effective energy monitoring and management systems

Solving the problem of timely detection of losses and its correct elimination in many production enterprises is difficult due to insufficient awareness of energy consumption. One of the solutions to this problem is the study and development of the functional capabilities of software and hardware measuring systems and their purpose.

This article presents examples and capabilities of software and hardware measurement systems for the purpose of forming a model of energy efficiency.

**Keywords:** software and hardware measuring complexes of energy efficiency, software development, energy losses, control optimization, energy-intensive production systems.

### *Введение*

Разработка программно-аппаратных измерительных комплексов часто является решением вопросов по автоматизации измерительных процессов, процессов мониторинга, сбора и обработки информации, на основе мобильной аппаратной части, где на принятие решения требуется гораздо меньше времени.

Процессы связанные с оптимизацией, моделированием и разработкой эквивалентных систем, моделей направленные на улучшение результатов или параметров, во многом относятся к программной части и к операционному циклу [1-7].

Производство товаров для экспорта и для внутреннего потребления в каждой стране имеет особое значение для мировой экономики. Основываясь на статистические данные, за последние годы, природные ресурсы быстро истощаются вместе со всевозможными экологическими последствиями и социальными проблемами во многом из - за интенсивного развития производственного сектора. Доверительные данные показывают, что промышленный сектор, который в настоящее время потребляет больше энергии, чем другие. Среди энергопотребления в промышленности:

энергоёмким и больше затратным является обрабатывающая промышленность [9-12]. На этом фоне предотвращение энергетических потерь и оптимизация управления энергией жизненного цикла продукции имеют первостепенное значение для борьбы с возросшим глобальным неблагоприятным воздействием на окружающую среду. Ожидается, что экономия энергии будет достигнута как за счет повышения энергоэффективности отдельных производственных процессов, так и за счет использования эффективных систем энергетического мониторинга и управления [13]. Однако на сегодняшний день отсутствует универсальная комплексная система для более точного тестирования энергоёмких производственных систем. Решение задачи о своевременном обнаружении потерь и ее правильное устранение на многих производственных предприятиях затруднительно из-за недостаточной осведомленности о потреблении энергии. Одним из решений данного вопроса является изучение и развитие функциональных возможностей программно-аппаратных измерительных комплексов (ПАИК) и их назначение.

Что касается потенциала ПАИК для производства, то с помощью ИТ технологии, технологических возможностей цифровых устройств, алгоритмов интеллектуального управления, архитектуры и микропроцессорной базы, можно автоматизировать процессы измерения параметров связанные с производственным процессом, могут быть получены и обработаны в режиме реального времени основные показатели об использовании и состоянии элементов энергосистемы.

За последние 10 лет интерес к повышению энергоэффективности растет на корпоративном, местном, национальном и международном уровнях во всем мире [14-25]. Технологии повышения энергоэффективности в промышленном секторе сегодня является трендом, где основное внимание уделяется энергоёмким промышленным предприятиям. Представленные в данной статье многие из описанных подходов, методов и примеров могут быть применены к другим промышленным и коммерческим секторам. Энергоэффективность также может способствовать повышению конкурентоспособности отраслей и предприятий на местном и мировом рынках за счет сокращения их стоимостной базы. В некоторых секторах и на некоторых рынках демонстрация высокого уровня энергоэффективности и более широкой устойчивости также может быть преимуществом для поставщиков, работающих на конкурентном рынке.

Одним из решений проблем энергоэффективности на энергетических объектах является разработка программно-аппаратного измерительного комплекса, с целью автоматизации технологических процессов.

В данной статье представлены примеры и возможности ПАИК с целью формирования модели ПАИК энергоэффективности.

*О процессах разработки программно-аппаратного измерительного комплекса*

Процесс разработки программно-аппаратных измерительных комплексов часто зависит от архитектуры системы, элементов, от возможности масштабирования, расширении функционала измерительных приборов за счет интеграции с различными программными пакетами, совместимости, контролируемых параметров, назначения и т.п.

В работах [26-28] представлены различные по функциональному назначению ПАИК, но идентичные по обработке и представлению типов данных. Из анализа процесса разработки рассмотрим разработку программно-аппаратных измерительных комплексов, в [8] представлены особенности интеллектуального производства, проблемам, такими как обмен данными и интеграция различных систем или продуктов в интеллектуальный, цифровой и взаимосвязанный производственный контекст. Эта ситуация, естественно, указывает на современную парадигму-Intelligent Digital Mesh (IDM). Представленные подходы IDM, Enterprise Architecture (EA) и Software Product Line Engineering (SPLE) в [8] объединяются для создания интеллектуального производства (рис. 1).

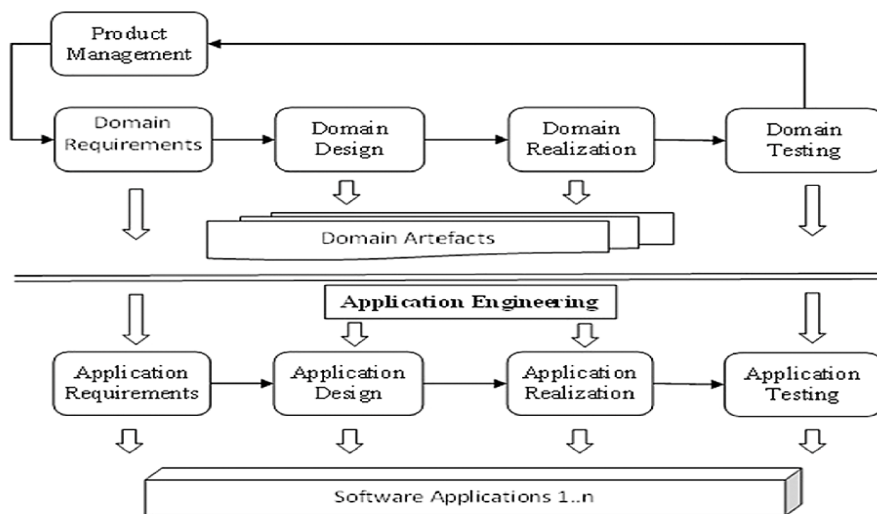


Рис. 1 - Software Product Line Engineering [8]

Процесс разработки и проектирования программно-аппаратных измерительных комплексов часто зависит от специфики, задач, среды и структуры. В качестве примера представим состав и структуру измерительных программно-аппаратных комплексов (рис. 2 -3), в которых указаны блоки и связи для детального понимания отличительной характеристики ПАИК.

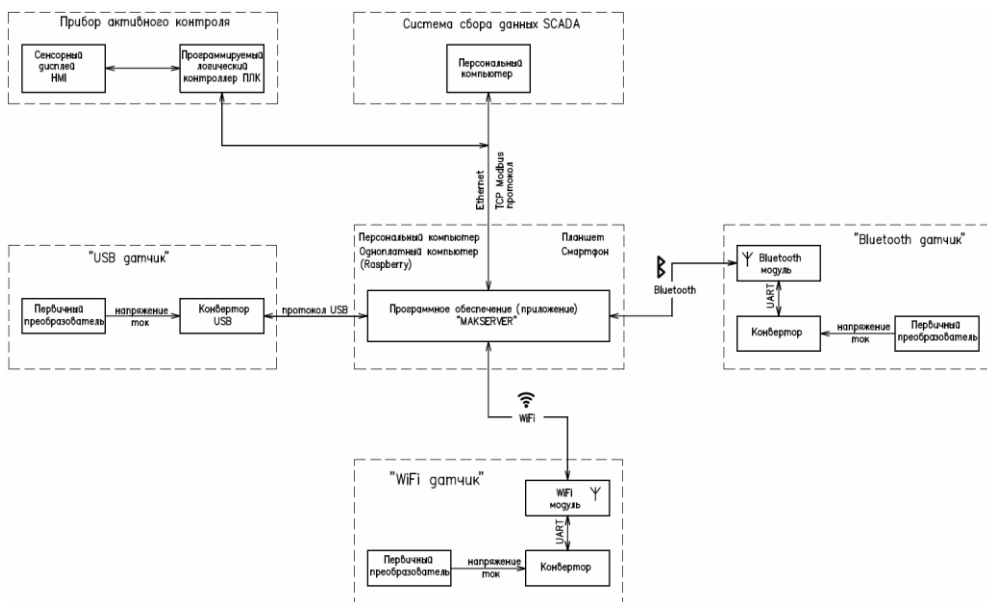


Рис. 2 - Состав и структура измерительных программно-аппаратных комплексов [28]

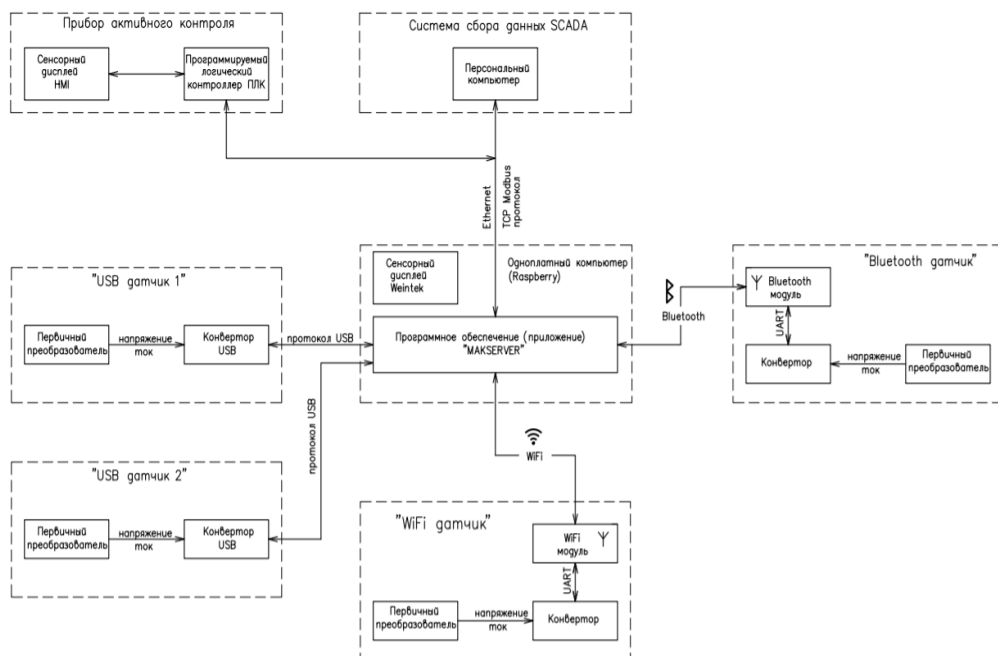


Рис. 3 - Структура блока индикации М-5.2 [28]

Как было отмечено в работах [12-29] платформы, языки программирования, проектирования, основаны и выбраны по соответствию к техническим параметрам и выполнению определенных функции и процедур.

*Программно-аппаратные измерительные комплексы и их возможности*

Программно-аппаратный измерительный комплекс (ПАИК) представляет собой полноценное решение, которое часто является инструментом для проведения соответствующих измерений, вычислений и вывода результатов аналитики. Применение программно-аппаратных измерительных комплексов наблюдается в различных научно-технических областях [14-25].

Рассмотрим основные результаты и возможности ПАИКа:

В [14] авторы демонстрируют анализ дерева отказов, который может быть использован для проведения анализа надежности программно-аппаратных систем. Функциональная зависимость аппаратных компонентов от взаимодействующих программных компонентов соответствующим образом моделируется с помощью деревьев неисправностей.

Авторы в работе [15] описывают класс моделей, используемых для оценки и прогнозирования надежности сложных аппаратно-программных систем. Подразумевается, что система может быть описана с помощью блок-схемы надежности. Блоки, относящиеся к аппаратным компонентам, имеют дело с «ожидающими» моделями непрерывной марковской цепи времени, в то время как блоки, относящиеся к программным компонентам, имеют дело с «ожидающими» моделями роста надежности программного обеспечения. Описаны задачи вывода и прогнозирования с помощью таких моделей.

Аппаратно-программный комплекс “Dashpoint” представленный в качестве проекта в [16] предназначен для того, чтобы сделать электронное обучение возможным для слабослышащих и слабовидящих.

Автор в статье [17] особое внимание уделил описанию испытательного приемного оборудования автоматической системы идентификации. Описана конструкция программно-аппаратного комплекса в MATLAB. Правильность работы программно-аппаратного комплекса проверялась базовой станцией АИС T214. В результате был создан новый продукт для проверки приемного оборудования АИС. Математическое моделирование в анализе и проектировании жестких и мягких измерительных систем в [18].

Рассмотрен аппаратно-программный комплекс для исследования характеристик помехоустойчивости и точности GNSS-приемника в работе [19], реализованный на базе аппаратной платформы National Instruments и программной среды LabVIEW. Комплекс обеспечивает моделирование

навигационного поля и источника помех, анализ принимаемых сигналов, определение погрешности измерения навигационных параметров GNSS-приемника, анализ помехоустойчивости GNSS-приемника.

В работе [20] рассматривается программно-информационный комплекс TGID-05, предназначенный для моделирования и пространственно-технологического анализа заданных теплогидравлических режимов централизованных систем теплоснабжения. Это позволяет управлять режимами работы и комплексно разрабатывать сложные системы теплоснабжения с возможностью контроля расчетных и измеряемых параметров работы системы. Решение, представленное в работе [20], совместимо с ГИС, SCADA-системами, автоматизированными системами учета энергоресурсов, автоматизированными системами управления производством.

ПАИК применяется для диагностики безотказности работы агрегатов машин [21]. Для оценки технического состояния отдельных элементов агрегатов машин использовались различные методы и средства диагностики с интегральным критерием, позволяющим оценить техническое состояние всего агрегата машины. В качестве интегрального критерия выступают параметры высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода - Фурье-преобразование технического состояния агрегата машины.

В статье [22] авторами разработана программа для анализа сигналов связи и акустической эмиссии системы "Emiss-2", основанная на ранее полученных экспериментальных данных.

Приведены результаты разработки программно-аппаратного комплекса управления помеховой обстановкой и локализации источников электромагнитного излучения [23]. Данная работа [23] посвящена общим проблемам управления помеховой обстановкой при работах по наладке, калибровке, измерению параметров, испытаниям и эксплуатации различных радиоэлектронных устройств с помощью ПАИК.

В работе [24] приведены результаты разработки аппаратно-программного комплекса автоматизированной проверки и испытаний новых цифровых устройств релейной защиты и аварийной автоматики для электроэнергетических систем. Аппаратно-программное обеспечение обеспечивает работу цифрового имитатора электроэнергетической системы в режиме реального времени.

Рассматривается проблема создания и применения методов автоматической самодиагностики отказов в сложных программно-аппаратных системах (в том числе в SCADA-системах). Для описания архитектуры системы была предложена структурно-логическая модель. Разработан математический метод диагностики отказов, основанный на анализе изменений состояния информационных потоков системы для повышения качества функционирования системы [25].

Возможность использования нового программно-аппаратного комплекса для оперативного определения химического и фазового состава поверхности представлена в работе [27].

Анализируя работы в [14-25] можно определить различные функциональные возможности, назначения в качестве программного обеспечения и аппаратную конфигурацию, которые в совокупности представляют архитектуру всего комплекса. В результате литературного анализа были определены научно-технические направления и области применения, а также алгоритмы и программные средства реализации.

На основе результатов сравнительного анализа моделей, методов, алгоритмов интегрированных в ПАИК [14-25] можно формировать архитектуру ПАИКа энергоэффективности в виде отдельного устройства с программным обеспечением на основе алгоритмов интеллектуального управления энергетическими параметрами. ПАИК энергоэффективности предназначен для снижения энергоемкости выпускаемой продукции в промышленных предприятиях.

Рассматриваются методы, модели и алгоритмы проектирования, моделирования системы для разработки концепции и модели комплекса с улучшенными характеристиками управления и предоставления широких возможностей для анализа данных при формировании рекомендации.

*Структура программно-аппаратного измерительного комплекса*

Структура предлагаемого программно-аппаратного измерительного комплекса менеджмента технологической энергоэффективности энергетических предприятий приведена на рисунке 4.

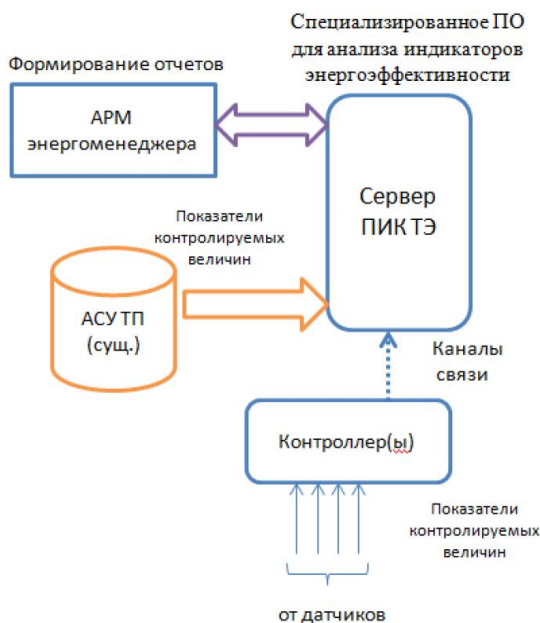


Рис. 4. Структурная схема программно-аппаратного измерительного комплекса энергоэффективности



Комплекс включает в себя все необходимые блоки сбора, обработки, хранения и управления информации. Программно-измерительный комплекс позволяет анализировать параметры индикаторов энергоэффективности в режиме реального времени и при их отклонении выдавать сообщение на АРМ энергоменеджера. В качестве источника вводной информации могут быть использованы данные существующих систем АСУ ТП. В случае их недостаточности устанавливаются дополнительные датчики, которые передают измеренную информацию на сервер по каналам связи. Разработка алгоритмов, программ, аппаратной части и составляет физическую сущность работ подпрограммы.

Разработанный программно-аппаратный измерительный комплекс является основой информационной системы энергоменеджмента и обеспечивает мониторинг всех изменений индикаторов, их трендов, нормативов энергопотребления. Его разработка осуществляется на выработанных международной практикой рекомендациях по разработке и внедрению программно-технических средств и создания информационных систем энергоменеджмента: это непосредственно каналы передачи данных, это серверы, в которых собираются данные по энерготехнологическим параметрам, а также автоматизированное рабочее место (АРМ) энергоменеджера, оснащённое аналитическим программным обеспечением. Путём построения единой информационной системы энергоменеджмента решается задача снижения трудоёмкости процессов системы энергоменеджмента по сбору, обработке, агрегации, фильтрации, аналитике, моделированию, использованию всего огромного массива энерготехнологических данных. Немаловажную роль здесь играет снижение влияния «человеческого фактора» на принятие управленческих решений.

#### *Вывод*

В данной статье основной инновационный вклад указывает на то, что анализ ПАИК-а и ее моделей, методов разработки и архитектура, определяет новые возможности применения в управлении энергией жизненного цикла выпускаемой продукции. Также в статье основное внимание уделено фазам жизненного цикла выпускаемого продукта, которую можно включить в модель ПАИК-а энергоэффективности.

В производственном периоде, когда данные собираются в режиме реального времени, сложные производственные процессы могут быть лучше отслежены и проконтролированы, чтобы снизить энергопотребление общественных объектов, производственного оборудования и обработки заготовок. В период обслуживания, благодаря ПАИК может быть реализовано эффективное транспортное планирование, комплексное руководство по использованию энергии клиентами,

прогнозное и совместное техническое обслуживание, точная классификация решений по ремонту и утилизации оборудования на энергетических объектах.

Предложенная идея и модель ПАИК-а будет основой для разработки инструмента по управлению промышленной энергетикой.

### **Список использованной литературы**

- 1 Кангожин Б.Р., Даутов С.С., Омарова Т.М. Обеспечение электромагнитной совместимости при проектировании заземляющих устройств тяговых подстанций, «ҚазККА Хабаршысы» 2014, № 6 (91). – С.108-112
- 2 Даутов С.С., Кангожин Д.Б., Жармагамбетова М.С., Косилов М.А. Программно-аппаратный измерительный комплекс менеджмента технологической энергоэффективности энергетических предприятий: Научное произведение – Алматы, КИТР, 2017. – 19 с.
- 3 Кангожин Б.Р., Даутов С.С. Программно-аппаратный комплекс оперативной блокировки коммутационных аппаратов для обеспечения электробезопасности: Научное произведение – Алматы, КИТР, 2016. – 24с.
- 4 Tulemissova, G., Baimuratov, O. *Cyber Security System of FPGA Platform for Wireless Sensor Networks*. ECCWS 2020 20th European Conference on Cyber Warfare and Security, 2020, Academic Conferences and publishing limited, P. 351-360.
- 5 Aitimov, M.Z., Ozhikenov, K.A., Aitimova, U.Z., Dautbayeva, A.O., Baimuratov, O.A. Analysis of the structure and calculation of time for the environmental monitoring system with multi-parameter sensors, *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 2(422), (2017): pp. 149–156.
- 6 Aitchanov, B.K., Baimuratov, O.A., Aldibekova, A.N. *Development of the System with NMR Based on Electromagnetic Coils for Milk Processing*. 2018 14th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO), Kaskelen, Kazakhstan, 2018, pp. 206-212.
- 7 Aitchanov, B.H., Nikulin, V.V., Baimuratov, O.A. *Mathematical modeling of digital pulse-frequency modulation control systems developed for objects with transport delay*. 2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Guiyang, China, 2013, pp. 1407-1411.
- 8 Pohl, K., Bockle, G., van der Linden, F. *Software Product Line Engineering*, Springer, Berlin Heidelberg, Germany, 2005. – 410 p.

- 9 Martin, J., Henrichs, Th. *European Environment Agency*. The European Environment State and 1079 Outlook 2010. — 222 p.
- 10 International Energy Agency (IEA), 2013. *International Energy Outlook 2013*. – 300 p.
- 11 U.S Energy Information Administration, 2009. *International Energy Outlook 2009: World Energy and economic Outlook*. – 274 p.
- 12 Tao, F., Wang, Y., Zuo, Y., Yang, H., Zhang, M. Internet of Things in product life-cycle energy management. *Journal of Industrial Information Integration*, 1 (2016): pp. 26-39.
- 13 Shrouf, F., Miragliotta, G. Energy management based on Internet of Things: 1199 practices and framework for adoption in production management, *J. Clean. 1200 Prod.* 100 (2015): pp. 235–246.
- 14 Kumar Vemuri, K., Behta Dugan, J. Reliability analysis of complex hardware-software systems. *Annual Reliability and Maintainability Symposium. 1999 Proceedings (Cat. No.99CH36283)*, Washington, DC, USA, (1999): pp. 178-182.
- 15 Cano J., Rios, D. Reliability forecasting in complex hardware/software systems. *First International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES'06)*, Vienna, Austria, 2006. – 304 p.
- 16 Gorodnitsky, D. *et al.*, Hardware-software complex “Dashpoint” for learning and communication of deafblind people. *2011 9th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Stara Lesna, Slovakia, 2011, pp. 95-98.
- 17 Bagazhov, A. Hardware-software complex testing receivers of the automatic identification system. *2015 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRusNW)*, St. Petersburg, Russia, 2015, pp. 120-124.
- 18 Khan, S., Ludwik, F. Mathematical modelling in the analysis and design of hard and soft measurement systems. *Measurement*. 46 (2013): pp. 2936-2941.
- 19 Dmitriev, D.D., Gladishev, A.B., Tyapkin, V.N., Fateev, Y.L. Hardware-software complex for studying the characteristics of GNSS receivers, *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, Moscow, Russia, 2016, pp. 1-4.
- 20 Demytyev, Y.N., Kritsky, A.B. The advanced automated hardware-software complex of control and management of functioning of the megapolises complicated heat-supplying systems, *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, Chelyabinsk, 2016, pp. 1-5.
- 21 Prakhov, I.V., Khismatullin, A.S. Development of a Hardware-Software Complex for Determining the Technical Condition of Pumping Equipment, *2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, Chelyabinsk, Russia, 2020, pp. 220-224.

- 22 Ovcharuk V.N., Hongwu, Q. Hardware-software complex for acoustic emission spectral analyzing, *2011 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, Krasnoyarsk, Russia, 2011, pp. 218-220.
- 23 Bobrikhin, A.F. *et al.*, Hardware-software complex of interfering situation control and localization of electromagnetic radiation sources, *2014 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology*, Sevastopol, Ukraine, 2014, pp. 273-274.
- 24 Naumkin, I.Y. Hardware-software complex for experimental study and testing of new digital relay protection devices and emergency automatics, *2005 IEEE Russia Power Tech*, St. Petersburg, Russia, 2005, pp. 1-6.
- 25 Syrotkina, O., Aziukovskyi, O., Udovuk, I., Aleksieiev, O., Prykhodchenko S., Ilyin, L. Mathematical Methods for Detecting and Localizing Failures in Complex Hardware/Software Systems, *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, Deggendorf, Germany, 2020, pp. 177-182.
- 26 Станции атмосферного мониторинга. Измерительный комплекс «СКАТ» URL: <http://rgm-consulting.kz/izmeritelnyy-kompleks-skat.html>.
- 27 Karaseva, E. Разработка программно-аппаратного измерительного комплекса сбора, детектирования и обработки фотоплетизмограмм. *Journal of Optical Technology c/c of Opticheskii Zhurnal*, 87 (2020): pp. 45-49.
- 28 Измерительные программно-аппаратные комплексы. URL: <http://vipp-tehnika.ru/product/izmeritelnye-programmno-apparatnye-kompleksy.html>.
- 29 Программное обеспечение для измерительных программно-аппаратных комплексов: Программа МАКСERVER URL: <http://vipp-tehnika.ru/product/programma-makserver.html>.