

УДК 004.2; 681.326; 519.713

Э.А. Неганова¹, В.Д. Марквирер¹,**М.А. Плаксин^{1,2}, А.И. Дерябин¹**

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Пермь, Россия

² Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОФИСНОГО ЗДАНИЯ

Широкое распространение киберфизических систем (cyber-physical system, CPS) связано с развитием концепции «Индустрия 4.0», в рамках которой первостепенное значение приобретают цифровая трансформация предприятий, использование новых методов управления на основе технологий Интернета вещей (Internet of Things, IoT) и анализа больших данных (Big Data). В общем случае CPS – класс информационных систем, вычислительные элементы которых интегрированы в физические процессы и объекты, такие системы могут взаимодействовать между собой с использованием протоколов Интернета. Рост числа применений CPS обуславливает необходимость их проектирования с учётом специфических факторов предметной области. В состав киберфизических систем входит аппаратное и программное обеспечение, которое во многом оказывает влияние на безопасность и стоимость технического решения, удобство взаимодействия пользователей с системой. Важными особенностями программ CPS являются обеспечение долговременной работоспособности и высокая устойчивость, что во многом усложняется отсутствием единых унифицированных решений (шаблонов) для построения ПО CPS. Отсутствие шаблонов также влияет и на другие требования к ПО. Целью исследования является выявление способов оптимизации соотношения затрат (как материальных, так и нематериальных) и качества проектируемого программного обеспечения CPS, использующего технологии Интернета вещей, а также выражение их в виде рекомендаций, пригодных для дальнейшего использования. Одним из подходов, позволяющих оценивать сложные организационно-технические решения, является функционально-стоимостный анализ (ФСА). В работе выявлены функции проектируемого ПО CPS офисного здания, определена его структура, отражены результаты применения метода ФСА и сделаны выводы о практической значимости проведенного исследования. Работа выполнена в рамках приоритетного направления развития науки Пермского филиала НИУ ВШЭ «Исследование методов управления в киберфизических системах».

Ключевые слова: киберфизическая система, функционально-стоимостной анализ, Интернет вещей, программное обеспечение.

E.A. Neganova¹, V.D. Markvirer¹, M.A. Plaksin^{1,2}, A.I. Deryabin¹

¹National Research University «Higher School of Economics»,
Perm, Russian Federation

²Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

VALUE ENGINEERING ANALYSIS IMPLEMENTED TO THE CYBER-PHYSICAL SYSTEM SOFTWARE OF AN OFFICE BUILDING

Cyber-physical systems (CPS) are widely used due to the “Industry 4.0” concept development within which digital enterprise transformation and the use of new management techniques based on the Internet of Things (IoT) and Big Data analytics assume primary importance. In general, CPS is a class of information systems whose computational elements are integrated into physical processes and objects; such systems can interact with each other using Internet protocols. The growing number of situations requiring CPS implementation determines the necessity of CPS design that takes into account the specific factors of a subject area. The CPS structure includes hardware and software which in many ways affect the security and cost of a technical solution, the convenience of user interaction with the system. A significant CPS programs feature is ensuring long-term performance and high sustainability which is largely complicated by the lack of unified solutions (templates) for CPS software design. This obstacle affects the realization of other software requirements as well. The purpose of the study is to identify ways to optimize the cost/quality ratio of the CPS software being designed that uses the technologies of the Internet of Things and present findings in the form of recommendations suitable for further use. One of the methods that realize complex organizational and technical solutions evaluation is Value Engineering (VE). CPS software functions have been identified and the anticipated system software structure has been determined. The results of applying the VE method to CPS software have been reflected and the conclusions considering the practical significance of the study have been drawn. The analysis has been carried out within the priority area of scientific development established in the National research university Higher school of economics (Perm) – “Research on control methods in cyber-physical systems”.

Keywords: cyber-physical system, value engineering, Internet of Things, software.

Введение. Широкое распространение киберфизических систем (cyber-physical system, CPS) обусловлено развитием концепции «Индустрия 4.0» [1], в рамках которой первостепенное значение приобретают цифровая трансформация предприятий, использование новых методов управления на основе технологий Интернета вещей (Internet of Things, IoT) [2, 3] и анализа больших данных (Big Data) [4]. В общем случае CPS – это класс информационных систем, вычислительные элементы которых интегрированы в физические процессы и объекты. Такие системы могут взаимодействовать между собой с использованием протоколов Интернета. CPS построены с использованием современных сенсорных, вычислительных и сетевых технологий [1, 5, 6], их применение способствует повышению безопасности и надежности, сокращению энергозатрат [7, 8]. Рост числа применений CPS обуславливает необхо-

димось их проектирования с учётом специфических факторов предметной области. В состав киберфизических систем входит аппаратное и программное обеспечение, которое во многом оказывает влияние на безопасность и стоимость технического решения, удобство взаимодействия пользователей с системой. Обеспечение долговременной работоспособности и высокая устойчивость являются важными особенностями программ CPS. Разработка ПО CPS во многом усложняется отсутствием единых унифицированных решений (шаблонов) для построения ПО CPS. Большинство доступных на рынке решений имеют закрытую архитектуру, их аналитические компоненты невозможно применить к конкретным зданиям и условиям эксплуатации [2]. Эта ситуация обуславливает перспективность реализации открытых платформ такого рода. Например, такие работы ведутся в пермском филиале Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Проектирование ПО CPS сопровождается большими затратами. В материальном производстве существует метод оценки объекта с целью выявления и уменьшения затрат (стоимости реализации) при одновременном сохранении или повышении качества исследуемого объекта – функционально-стоимостной анализ (ФСА). В классическом понимании основным объектом ФСА являются технические системы [9]. Согласно современному представлению объектом ФСА могут выступать изделие, технологический процесс, организационная структура [10]. Вызывает интерес возможность применения данного метода к информационным системам, в частности программным продуктам. Поэтому было решено выявить степень пригодности данного метода к оценке ПО, применив ФСА при разработке не аппаратной, а программной части CPS, в частности ПО CPS офисного здания. Целью исследования является выявление способов оптимизации соотношения затрат (как материальных, так и нематериальных) и качества проектируемого программного обеспечения CPS, использующего технологии Интернета вещей, а также выражение их в виде рекомендаций, пригодных для дальнейшего использования.

1. Оценка возможности применения ФСА к программному обеспечению информационных систем. В работе [11] приводится следующая классификация методов оценки информационных систем (ИС): методы финансового анализа, методы качественного анализа (эвристическая оценка), методы инвестиционного анализа, методы вероятностного анализа. Также известен стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015,

согласно которому функциональная пригодность ПО является неотъемлемой характеристикой модели качества системы и определяется как величина, показывающая соответствие выполнения продуктом или системой функций заявленным потребностям использования в определённых условиях.

Одним из подходов, позволяющих оценивать сложные организационно-технические решения, является функционально-стоимостный анализ (ФСА), разработанный в конце 40-х гг. XX в. одновременно и независимо советским и американским инженерами Ю.М. Соболевым (Пермский телефонный завод) и Л.Д. Майлсом (General Electric).

Прежде всего необходимо уточнить терминологию. Ю.М. Соболев свой метод именовал «поэлементным анализом», а Л.Д. Майлс использовал названия Value Analysis или Value Engineering (VA/VE). В современной русскоязычной литературе закрепился термин «функционально-стоимостной анализ» (ФСА).

Однако этим же названием – ФСА – в русскоязычной литературе иногда обозначают метод расчета себестоимости продукции, который по-английски именуется Activity Based Costing (ABC-метод). Метод служит для определения себестоимости продукции с учетом затрат, возникающих при выполнении конкретных операций (видов деятельности). В контексте оценки эффективности ИТ-проектов ABC-метод относится к методам контроля затрат [12, 13].

Аббревиатура «ABC», в свою очередь, используется еще в одном названии: «ABC-анализ». ABC-анализ – это метод ранжирования ресурсов предприятия, в зависимости от их вклада в прибыль или продажи. При этом ресурсы распределяются по трем категориям: наиболее ценные, промежуточные, наименее ценные. Метод может применяться, например, с целью выявления нерентабельных или низкорентабельных групп товаров и своевременного изменения ассортиментного ряда [14].

В рамках данной работы под функционально-стоимостным анализом понимается «поэлементный анализ» Ю.М. Соболева и Value Analysis/Value Engineering Л.Д. Майлса. ФСА – это метод совершенствования объекта (технической системы), достигаемого за счет систематического исследования структуры и функций объекта, а также поиска способа оптимизации соотношения качества системы и затрат на ее реализацию [15]. ФСА исходит из того, что потребителю нужна не система, а результат ее деятельности, ее функция. Потребитель вынужден приобретать систему,

потому что без нее он не получит функцию. Система – это инструмент получения функции. Каждая система обладает целым спектром функций, которые отличаются «степенью значимости» для потребителя. Для выполнения каждой из этих функций задействованы какие-то части (компоненты) системы. Процессы изготовления и эксплуатации каждой из этих частей имеют свою стоимость. Стоимость компонентов определяет стоимость реализуемых ими функций. ФСА позволяет установить соотношение между значимостью функции и стоимостью ее реализации. Он постулирует необходимость соответствия этих двух параметров. Стоить «дорого» имеют право только те функции, которые имеют высокую значимость для потребителя. Функция малозначащая должна стоить «дешево» [16–18].

ФСА состоит из следующих этапов:

1. Подготовительный этап – выбор объекта анализа, определение его перспективности для исследования, наличия узких мест объекта и стоимости его реализации.

2. Информационный этап – сбор и систематизация информации об исследуемом объекте.

3. Аналитический этап, в который входят классификация функций системы и экспертная оценка их значимости, определение компонентов системы, реализующих её функции, экспертная оценка стоимости компонентов системы, перенос стоимости компонентов на реализуемые ими функции. На этом же этапе выполняется сопоставление значимости и стоимости функций.

4. Творческий этап – разработка предложений по совершенствованию исследуемой системы.

5. Исследовательский этап – экспериментальная проверка предложенных решений.

6. Рекомендательный этап – принятие окончательного решения о внедрении идей, разработанных на творческом этапе.

7. Внедренческий этап – внедрение принятых решений и контроль реализации намеченного плана работ.

Рассмотрим некоторые примеры применения метода ФСА. Так, в работе [10] метод ФСА используется для оценки инновационного проекта, авторами приводится описание этапов применения метода.

В работе [19] метод ФСА применяется в рамках концепции бережливого производства, предполагающего исключение затрат, не увеличивающих ценность продукции. В работе метод применяется для материального продукта, а не для программного обеспечения.

В [9] отмечается, что попытки применить метод ФСА к нематериальным объектам (**работам, услугам, нематериальным активам**) сопровождались невозможностью реализации всего комплекса работ ФСА, пригодных для анализа материальных объектов. В отношении нематериальных объектов удавалось применить лишь отдельные элементы или приемы ФСА, но не весь метод в целом. В работе приводится вывод о том, что основными объектами, для которых может быть применен метод ФСА, остаются материальные объекты.

Работа [20], напротив, направлена на оценку целесообразности применения метода ФСА к нематериальным продуктам: автоматизированным ИС. Автором определяется цель применения метода ФСА: усилить полезность функций объекта автоматизации при оптимальном соотношении их значимости для целей управления и затрат на их обслуживание (внедрение, обновление, поддержку). В работе отмечается, что функциональная структура предприятия определяет используемые прикладные программные продукты, подтверждается мысль о том, что метод ФСА может быть применен для ПО. В статье показан процесс определения функций автоматизированной информационной системы (АИС) и их значимых коэффициентов, определения затрат на обеспечение, статьи расходов, из которых формируются инвестиции на АИС, отмечается, что источником данных может быть экспертная оценка. К сожалению, в статье не показано, что следует дальше делать со значимостью программных функций и их стоимостью. Отметим, что в [17] описывается применение функционально-стоимостного анализа на этапе внедрения АИС. Данная статья посвящена применению ФСА к программному обеспечению на этапе разработки.

Таким образом, анализ литературы позволил выявить основные преимущества применения метода ФСА, ключевые этапы этого метода и примеры его применения, подтвердить возможность адаптации метода к оценке нематериальных объектов. Следует отметить низкую степень проработанности данного вопроса в отношении оценки программных продуктов.

2. Использование ФСА при проектировании программного обеспечения CPS офисного здания

2.1. Характеристика объекта ФСА. На первом этапе анализа был определен объект исследования – CPS офиса многоэтажного здания. По экспертным оценкам стоимость ПО для объекта задана из расчета 1 тыс. руб. за 1 м², что составляет для нескольких помещений

около 500 тыс. рублей. Эти затраты связаны с программированием оборудования, покупкой лицензионного ПО, оплатой труда интеграторов, а также других работ, которые зависят от размера помещения и особенностей инфраструктуры. Перспективность применения CPS в офисе заключается в совершенствовании условий рабочей среды для сотрудников, в переходе к новым технологиям управления энергоресурсами здания. Наличие узких мест объекта обуславливается применением технологий IoT управления, которые остаются малоизученными и сложными для понимания, трудностью в организации правильного взаимодействия физических объектов и вычислительных устройств, обеспечением безопасности данных, а также высокой стоимостью для конкретной области применения (цена системы зависит от масштаба предприятия/здания/помещения и необходимых характеристик).

Вопросы, связанные с проектированием ПО CPS, обсуждаются в работах [2, 4, 6]. Так, в работе [2] ПО CPS рассматривается как программная платформа управления интеллектуальными зданиями, основанная на технологии Интернета вещей (IoT). Отмечается, что такие системы входят в состав комплексных систем класса BEMS – Building Energy Management System и являются инструментами энергоресурсосберегающих мероприятий в зданиях.

В работе [6] поднимается вопрос о достаточности доступных на сегодняшний день вычислительных и сетевых технологий для реализации CPS, перечисляются требования к CPS. Так, отмечается, что CPS предназначены для работы в неконтролируемой среде и должны быть устойчивыми к неожиданным условиям и отказам подсистем.

В статье [1] авторами определяется принципиальное отличие CPS от существующих встроенных систем и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), заключающееся в способности CPS интегрировать кибернетический подход к управлению системой, аппаратные и программные технологии, исполнительные устройства, выполненные на новом технологическом уровне, встроенные в окружающую среду и способные воспринимать ее изменения, реагировать на них, обучаться и адаптироваться к изменениям. Авторами также описываются принцип работы CPS и семь уровней её архитектуры. Акцент делается на вопросы обеспечения информационной безопасности CPS, анализируются основные типы кибератак, предлагается дерево угроз информационной безопасности.

2.2. Оценка и сопоставление значимости и стоимости функций и компонентов системы. После определения объекта исследования была выполнена систематизация функций объекта. Функции делятся на главные и второстепенные, а второстепенные – на полезные, нейтральные и вредные. Были выявлены две главные функции – это обеспечение управления затратами на энергоресурсы и создание благоприятной среды для человека (контроль температуры, влажности и т.п.).

Для главных функций была построена иерархия высотой в три уровня. Каждая из главных функций была разделена на 5 вспомогательных функций, которые, в свою очередь, были разделены на более мелкие подфункции. Например, для реализации функции снижения затрат на эксплуатацию и прочих издержек необходимо реализовать функцию сбора информации с приборов учета [21], что, в свою очередь, обеспечивается за счёт реализации измерения параметров окружающей среды и преобразования полученных данных с датчиков в сигналы, пригодные для обработки и анализа вычислительными устройствами. Аналогично были выделены другие функции системы. В результате были сформированы три уровня функций [22], на первом уровне представлены 2 функции, на втором уровне – 10 функций, а на третьем уровне – 27 функций. Значимость функций для потребителя была оценена экспертным путем. В состав экспертной группы вошли специалисты в области бизнес-информатики, программной инженерии, киберфизических систем и Интернета вещей. Агрегация экспертных оценок проводилась методом голосования.

Методика, использованная для оценки значимости функций, заключается в следующем. Предполагается, что суммарная значимость полезных функций первого уровня равна 100 %. Эти 100 % были распределены между всеми функциями первого уровня. В данном случае их две – «Снижение затрат на эксплуатацию и прочих издержек» и «Создание благоприятной и комфортной среды для пользователей CPS офисного помещения». Их значимость составила соответственно 56 и 44 %. Эти величины были определены как «глобальная значимость» функций первого уровня.

В результате декомпозиции функций первого уровня под каждой из них расположена соответствующая группа функций второго уровня.

Суммарная «локальная значимость» группы функций второго уровня также была определена равной 100 %. Эти 100 % были поделены между всеми функциями группы. Для функции «Снижение затрат на эксплуатацию и прочих издержек» локальная значимость функций второго уровня была оценена так: «Получение информации из окружающего мира» – 19 %, «Хранение данных – 16 %, «Интеграция подсистем и обеспечение совместной работы оборудования, обмен данными» – 18 %, «Анализ данных» – 23 %, «Принятие решений по оптимизации энергозатрат» – 24 %. Для функции «Создание комфортной среды» локальная значимость функций второго уровня была определена как 21 % для «Интерфейс взаимодействия с CPS», 21 % для функции «Передача воздействий на объекты управления», 21 % для «Обработка ошибок», 20 % для «Обеспечение безопасности», 17 % для «Ускорение и повышение качества настройки оборудования».

После этого «локальная значимость» функций второго уровня была пересчитана в «глобальную значимость». Для этого «локальная значимость» функции умножалась на «глобальную значимость» вышестоящей функции предыдущего уровня. Например, расчет «глобальной значимости» для функции второго уровня «Получение информации из окружающего мира»: $19 \cdot 56 = 11$ % (после арифметического округления). Аналогично значение «глобальной значимости» было получено для всех функций второго уровня. Далее эти же действия – оценка «локальной значимости» и вычисление «глобальной значимости» – были проведены для функций третьего уровня.

Результаты расчетов «глобальных значимостей» функций системы показаны в табл. 1 (с учетом арифметического округления до единиц). Значимость функции обозначена I_f .

Следующий этап анализа согласно методу ФСА заключается в определении структуры объекта анализа и стоимости составляющих его компонентов. За основу определения системной архитектуры ПО CPS было взято типовое архитектурное решение для системы управления энергоресурсами здания на основе технологий Интернета вещей, разработанное в рамках приоритетного направления развития науки пермского филиала НИУ ВШЭ «Исследование методов управления в киберфизических системах» [2].

Таблица 1

Список функций ПО CPS офисного здания

Функции		Значи- чи- мость, I_f , %
Главные		100
1	Снижение затрат на эксплуатацию и прочих издержек	56
1.1	Получение информации из окружающего мира	11
	1.1.1 Измерение контролируемых параметров (температура, качество воздуха, влажность и т.д.)	5,5
	1.1.2 Преобразование контролируемых параметров в цифровую форму	5,5
1.2	Хранение данных	9
	1.2.1 Сбор данные из разных источников	1,3
	1.2.2 Подключение внешних систем к CPS	1,3
	1.2.3 Агрегация данных	1,2
	1.2.4 Хранение атрибутов и характеристик объектов здания	1,2
	1.2.5 Хранение метрик (температура, давление, влажность и т.д.), распределенных по времени	1,5
	1.2.6 Актуализация БД	1,3
	1.2.7 Хранение многомерных данных	1,2
1.3	Интеграция подсистем и обеспечение совместной работы оборудования, обмен данными	10
	1.3.1 Связь физических устройств между собой	2
	1.3.2 Обеспечение безопасности каналов связи	2
	1.3.3 Обеспечение доступа к сторонним приложениям, серверам и т.д.	2
	1.3.4 Получение от клиентской части запросов на ресурсы, предоставление доступа к необходимым данным	2
	1.3.5 Управление подсистемами	2
1.4	Анализ данных	13
	1.4.1 Поиск закономерностей в больших массивах данных	3,3
	1.4.2 Прогноз поведения объекта с целью принятия оптимальных решений	3,2
	1.4.3 Поиск паттернов в исторических данных, идентификация рисков и возможностей по улучшению системы	3,3
	1.4.4 Планирование математических экспериментов	3,2
1.5	Принятие решений по оптимизации энергозатрат	13
2	Создание благоприятной и комфортной среды для пользователей CPS офисного помещения	44
2.1	Интерфейс взаимодействия с CPS	9
	2.1.1 Работа через мобильные устройства	1
	2.1.2 Отображение веб-ресурсов, вывод на экран результатов запросов	2
	2.1.3 Передача информации между пользователем и программно-аппаратными компонентами CPS	2
	2.1.4 Визуализация метрик в виде графиков	2
	2.1.5 Формирование отчетов	2
2.2	Передача воздействий на объекты управления	9
2.3	Обработка ошибок	9
2.4	Обеспечение безопасности	9
	2.4.1 Безопасное взаимодействие CPS с пользователем	2,3
	2.4.2 Кибербезопасность	2,2
	2.4.3 Учет аварий; фиксация инцидентов и неисправностей в системе, анализ инцидентов с целью планирования превентивных мер защиты и улучшения системы	2,3
	2.4.4 Управление учётными записями и контроля доступа	2,2
2.5	Ускорение и повышение качества настройки оборудования	8

Стоимость компонентов была оценена экспертным путем. Экспертная группа была представлена теми же специалистами, что и при оценке значимости функций ПО CPS. Агрегация экспертных оценок также проводилась методом голосования. Стоимость компонентов определялась с учетом доступных информационных источников компаний производителей систем управления зданиями, систем «Умный дом», систем автоматизации, энергоучетных систем, а также с учетом среднерыночных зарплат разработчиков ПО в Пермском крае.

В табл. 2 представлены структура ПО CPS офисного здания [23–27] и оценка стоимости каждого компонента системы. Стоимость в рублях каждого компонента была пересчитана в его «процентную стоимость» (долю затрат на данный компонент от общей стоимости системы). «Процентная стоимость» компонентов обозначена V_e .

Таблица 2

Структура ПО CPS офисного здания

Компонент		Стоимость, руб	Стоимость, V_e , %	
1.	Клиентская часть	583500	19,14	
	1.1.	ПО датчиков	6500	0,21
	1.2.	ПО исполнительных устройств	17000	0,56
	1.3.	Мобильное приложение	500000	16,40
	1.4.	Браузер	0	0
	1.5.	Интерфейс программ моделирования	60000	1,97
2.	Локальная вычислительная сеть	60000	1,97	
3.	Сервер	126000	4,13	
	3.1.	ПО Web-сервера	66000	2,16
	3.2.	ПО Сервера визуализации	60000	1,97
4.	Набор сервисных приложений	1300000	42,65	
	4.1.	ПО блока управления	125000	4,10
	4.2.	ПО блока сбора данных	125000	4,10
	4.3.	ПО блока анализа аварийных ситуаций	125000	4,10
	4.4.	ПО блока отчетов	110000	3,61
	4.5.	ПО блока защиты данных	110000	3,61
	4.6.	ПО блока внешних подключений	110000	3,61
	4.7.	ПО блока интеграции с внешними БД	125000	4,10
	4.8.	ПО блока планирования расчетов	125000	4,10
	4.9.	ПО блока предиктивных моделей	125000	4,10
	4.10.	ПО блока самодиагностики	110000	3,61
	4.11.	ПО блока энергетической оптимизации	110000	3,61
5.	Сервер баз данных	980000	32,14	
	5.1.	ПО для работы с реляционной базой данных	100000	3,28
	5.2.	ПО для работы с базой данных временных рядов	360000	11,81
	5.3.	ПО для работы с внешними базами данных	200000	6,56
	5.4.	ПО для работы с OLAP кубами	320000	10,49

Далее необходимо было определить, какие элементы системы реализуют перечисленные функции. Для этого были взяты две иерархии – иерархическая структура системы и иерархия ее функций – и соединены в единую структурно-функциональную схему. На структурно-функциональной схеме каждая функция соединена с теми компонентами, которые ее реализуют, а каждый компонент – с теми функциями, в реализации которых он принимает участие. Графически связь функций и компонентов ПО CPS представлена на рис. 1.

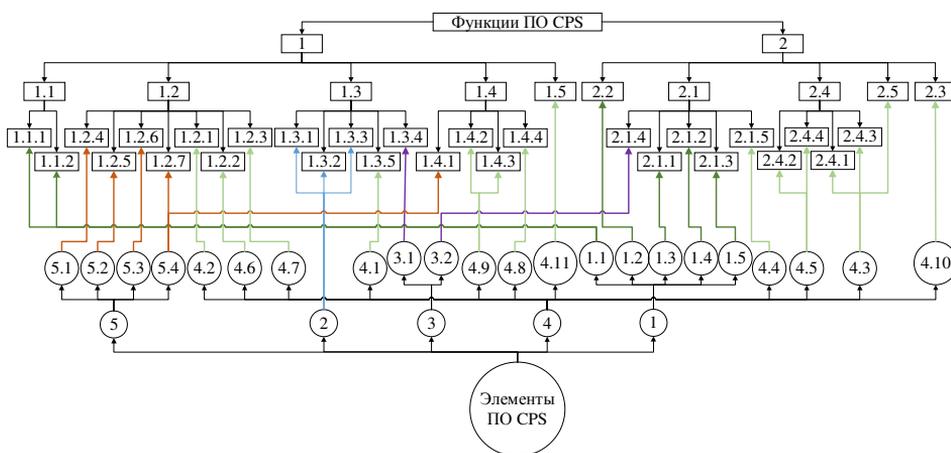


Рис. 1. Структурно-функциональная схема ПО CPS офисного здания

Структурно-функциональная схема позволяет связать оценку значимости и оценку стоимости: перенести значимость функций на компоненты системы, а стоимость компонентов – на функции. Оценка значимости каждого компонента рассчитывается согласно значимости функций, реализуемых этим компонентом. Если функция реализуется несколькими компонентами, значимость каждой функции I_f разделяется равномерно между компонентами ПО CPS, участвующими в реализации этой функции. Если компонент реализует несколько функций, то он получает свою «долю значимости» от каждой из реализуемых функций, в совокупности составляющих значимость компонента ПО CPS. Этот параметр был обозначен как I_e . Аналогично, стоимость каждой функции определяется стоимостью компонентов, ее реализующих. Если компонент выполняет несколько функций, его стоимость V_e распределяется равномерно между функциями. Если функция реализуется несколькими компонентами, ее стоимость складывается из «долей стоимости», полученных от каждого компонента.

Решение равномерного распределения значимости функций между компонентами и стоимости компонентов между функциями было принято только из соображений простоты расчетов. Анализ может быть проведен также и с использованием более сложных правил переноса стоимости на функции и значимости на компоненты.

В целях сохранения объема статьи в разумных пределах таблицы со значениями стоимости функций и значимости компонентов опущены. На рис. 2 показаны результаты сопоставления значимости и стоимости компонентов ПО CPS офисного здания.

Стоит отметить, что отступление от классического ФСА делается намеренно. В классическом варианте применения метода анализируются значимость и стоимость функций. Если стоимость выше значимости функции, следует искать более дешевые пути реализации этой функции. В данном исследовании, наоборот, проводится сопоставление стоимости и значимости компонентов при фиксированных функциях. Это позволяет выявить, для каких компонентов запланированы не самые удачные способы реализации, и определить более экономичные способы при одинаковых выполняемых компонентами функций в условиях большой вариативности возможных решений. На диаграмме (рис. 2) стоимость компонента окрашена в чёрный цвет, а значимость – в серый.

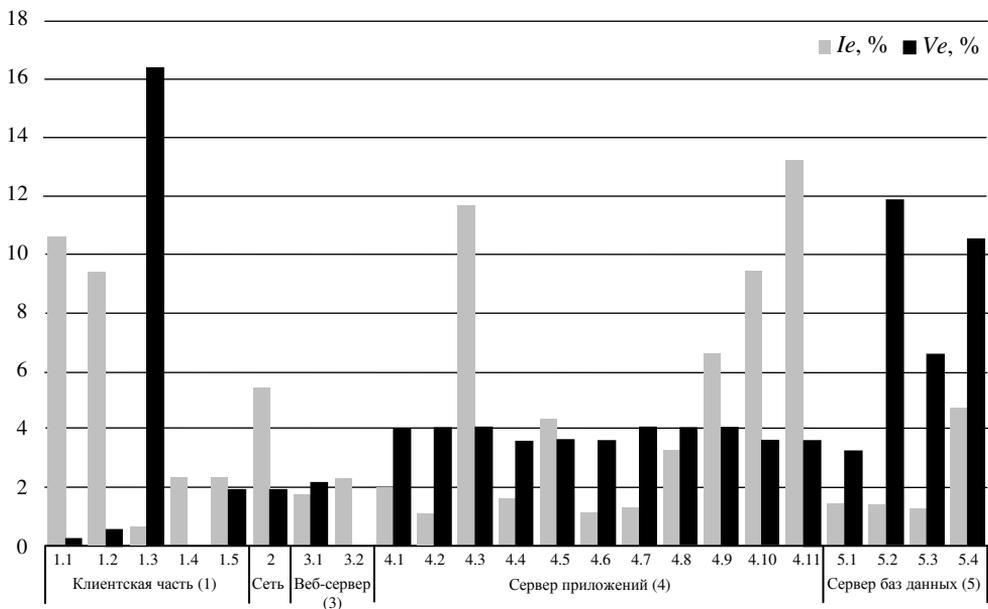


Рис. 2. Сопоставление значимости I_e и стоимости V_e компонентов ПО CPS офисного здания

Ситуация, когда для одного компонента оба столбца получаются одинаковой высоты, считается идеальной. На практике такое встречается редко. Так, в нашем случае четко выделяются компоненты с высокой значимостью и низкой стоимостью (1.1, 1.2, 4.3, 4.10, 4.11) и компоненты с высокой стоимостью и низкой значимостью (1.3, 5.2, 5.3, 5.4). По данным этой диаграммы были определены компоненты, для которых можно выявить рекомендации по понижению стоимости. Примеры решений показаны в табл. 4.

Стоимость компонентов ПО CPS – это стоимость реализации системы. С точки зрения жизненного цикла ИС – это однократные расходы, после которых следует распространение готового ПО. Внедрение и сопровождение системы – многократно повторяющийся процесс, количество повторов которого определяется количеством проданных лицензий. Следовательно, расходы, связанные с этими этапами жизненного цикла системы, должны учитываться иначе, чем расходы этапа реализации. Расходы на этапе внедрения возникают в процессе настройки ПО для определенных условий эксплуатации. Расходы на этапе сопровождения – это расходы доработки и изменения ПО, добавления функциональности, улучшения удобства использования ПО.

Таким образом, для каждой инсталляции разрабатываемого ПО CPS стоимость складывается из трех составляющих – стоимости разработки, внедрения и сопровождения, но последние две должны учитываться особым образом. Было введено понятие *сложности*, включающее в себя стоимость и кратность расходов каждого из трех этапов жизненного цикла ПО CPS.

Сложности реализации, внедрения и сопровождения, выраженные в процентах, были обозначены C_1 , C_2 и C_3 соответственно. В качестве значений сложности реализации C_1 был использован параметр V_e каждого компонента ПО CPS, значения при этом были округлены до целых. Для оценки сложности внедрения и сопровождения членами экспертной группы были использованы промежуточные значения C_2^* и C_3^* , показывающие количество «баллов сложности» из диапазона от 0 до 100, присужденных каждому компоненту (табл. 3). Баллы сложности C_2^* и C_3^* впоследствии были приведены к нормированным показателям C_2 и C_3 согласно формуле:

$$C_{ij} = \frac{C_{ij}^*}{\sum_{j=1}^N C_{ij}^*} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где i, j – число элементов ПО CPS, $i = 1..3, j = 1..N, N$.

Затем была рассчитана итоговая сложность C для каждого компонента по формуле:

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^3 C_{ij}}{\sum_{j=1}^N (\sum_{i=1}^3 C_{ij})} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

Результаты экспертной оценки можно увидеть в табл. 3.

Таблица 3

Определение сложности компонентов ПО CPS офисного здания

№		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11	5.1	5.2	5.3	5.4
Сложность реализации	C_1^*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C_1	0%	1%	16%	0%	2%	2%	2%	2%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	3%	12%	7%	10%
Сложность внедрения	C_2^*	10	10	60	0	10	10	30	20	80	80	40	30	30	80	80	40	40	80	40	10	20	10	50
	C_2	1%	1%	7%	0%	1%	1%	3%	2%	9%	9%	5%	3%	3%	9%	9%	5%	5%	9%	5%	1%	2%	1%	6%
Сложность сопровождения	C_3^*	0	0	20	0	0	10	0	0	50	50	20	10	10	50	50	20	20	50	20	20	20	0	40
	C_3	0%	0%	4%	0%	0%	2%	0%	0%	11%	11%	4%	2%	2%	11%	11%	4%	4%	11%	4%	4%	4%	0%	9%
Итоговая сложность	C	0%	1%	9%	0%	1%	2%	2%	1%	8%	8%	4%	3%	3%	8%	8%	4%	4%	8%	4%	3%	6%	3%	8%

2.3. Ранжирование компонентов по сложности и значимости.

Выработка рекомендаций по усовершенствованию ПО. Далее было проведено сравнение значимости и сложности каждого компонента. Это можно было сделать с помощью столбчатой диаграммы, аналогично рис. 2, но более информативным инструментом в данном случае является отображение компонентов системы в координатной плоскости, вертикальная ось которой отображает сложность компонентов C , а горизонтальная – значимость I_e [28]. При этом некоторые значения были округлены, что позволило упростить построение графика без искажения его смысла. На рис. 3 точно отражено положение каждого элемента ПО CPS в координатной плоскости. Полученный график был разделен на четыре равных области: D, E, E^*, F .

Левая верхняя область (D) – это компоненты с высоким значением параметра «сложность», но характеризующиеся слабой значимостью для системы в целом.

Правая верхняя область (E) – это значимые компоненты для системы, но сложные в плане реализации, внедрения и сопровождения.

В этой области расположен один компонент – ПО блока самодиагностики. Действительно, этот блок важен для системы, поскольку он позволяет избежать сбоев в работе, при этом это технически сложный компонент, не имеющий доступных программных реализаций; его отладка и настройка на реальном объекте будут затруднительными.

Левая нижняя область (E^*) противоположна E , т.е. элементы, попадающие в эту область, достаточно просты и имеют относительно небольшую значимость для системы в целом.

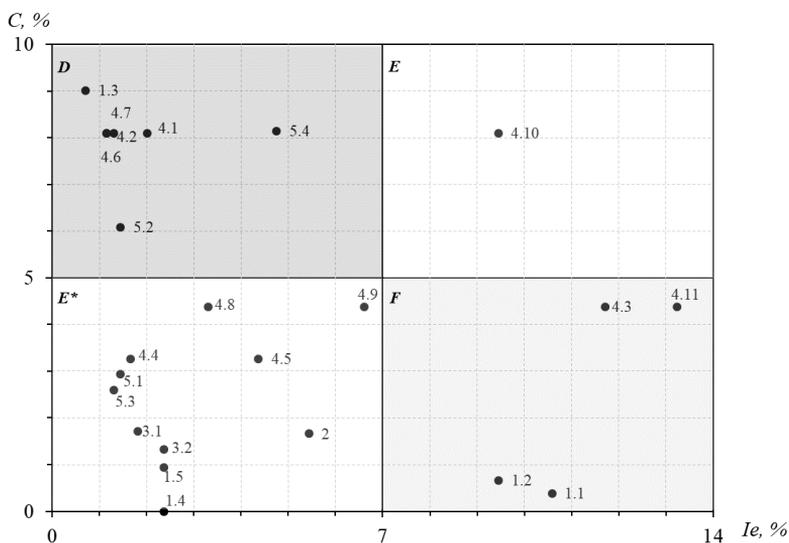


Рис. 3. Анализ сложности и значимости каждого компонента ПО CPS: C – сложность, I_e – значимость

Правая нижняя область (F) – наиболее значимые и наименее сложные компоненты, они характеризуются идеальным соотношением этих двух параметров. Желательно, чтобы все компоненты ПО CPS оказались в этой области. Для того чтобы достигнуть этого, необходимо выяснить, какими способами можно повысить значимость компонентов, оказавшихся в областях D и E^* , понизить сложность компонентов, попавших в области D и E .

Так, были сформулированы примеры рекомендаций по усовершенствованию отношения значимость/сложность разрабатываемых компонентов ПО CPS офисного здания (табл. 4), которыми могут воспользоваться руководители проектов, системные архитекторы, специалисты по разработке ПО.

Таблица 4

Пример оформления списка рекомендаций
к компонентам ПО CPS офисного здания

№ компонента ПО CPS	Рекомендация	Повышение, I	Снижение, C
1.3	Предоставить пользователю возможность управления объектами CPS здания в локальной сети посредством смартфона или планшета без подключения к Интернету	+	
	Создать веб-приложение и адаптировать его для работы на мобильных устройствах		+
3.1	Увеличить число возможных подключений клиентов к веб-серверу до 1 млн	+	
3.2	Ориентировать вывод информации в графическом виде	+	
4.1	Повысить число подключенных датчиков и исполнительных механизмов	+	
	Разделить функции управления между несколькими блоками. Обеспечить декомпозицию задачи управления и синхронизацию передачи команд		+
4.4	Вывести в отчеты прогнозы изменений характеристик системы и рекомендации по улучшению системы.	+	
4.6	Интегрировать в систему оборудование от различных производителей	+	
	Применить унифицированные интерфейсы компонент и открытые протоколы		+
4.7	Увеличить частоту обращения к внешним системам и БД	+	
	Применить существующие решения по интеграции системы с внешними БД		+
4.8	Увеличить количество экспериментов	+	
4.9	Реализовать прогноз изменений параметров	+	
5.1	Повысить количество атрибутов объектов	+	
5.2	Повысить частоту дискретизации измерений	+	
	Повысить число измеряемых параметров (временных рядов)	+	
5.3	Увеличить объем информации, передаваемый на внешние системы	+	
5.4	Реализовать анализ данных в реальном времени	+	
	Передать на реализацию сторонней организации		+

Выводы. Таким образом, востребованность CPS в условиях развития концепции цифровой трансформации компаний обуславливает необходимость их проектирования с учётом специфических факторов предметной области, повышенных требований к системе, в частности, высокой работоспособности, устойчивости, безопасности. Одним из способов оптимизации соотношения затрат и качества проектируемого программного обеспечения CPS является применение метода ФСА к ПО CPS, рассмотренное в данной работе.

Так, были определены функциональные требования к ПО CPS и структура системы, была построена структурно-функциональная схема CPS. Были отражены методики определения значимости функций и стоимости компонентов системы, переноса значимости на компоненты и стоимости на функции. Было проведено сопоставление

стоимости и значимости компонентов ПО CPS при фиксированных функциях системы, в результате чего удалось выявить не самые удачные способы реализации отдельных компонентов, определить более экономичные способы их реализации при одинаковых выполняемых компонентами функциях в условиях большой вариативности доступных решений.

Возможность формировать рекомендации по совершенствованию системы ещё на этапе ее проектирования, до разработки и ввода в эксплуатацию, позволяет избежать необоснованных затрат (как временных, так и материальных) на исправление ошибок или своевременно отказаться от реализации информационной системы ввиду её нерентабельности. Приведенный пример оформления списка рекомендаций по совершенствованию отношения значимость/сложность разрабатываемых компонентов ПО CPS офисного здания может быть использован руководителями проектов, системными архитекторами, специалистами по разработке ПО при поиске решений по увеличению эффективности компонентов ПО CPS и уменьшению затрат.

Библиографический список

1. Alguliyev R., Imamverdiyev Y., Sukhostat L. Cyber-physical systems and their security issues // *Computers in Industry*. – 2018. – № 100. – P. 212–223.

2. Проектирование IoT-платформы для управления энергоресурсами интеллектуальных зданий / А.В. Кычкин, А.И. Дерябин, О.Л. Викентьева, Л.В. Шестакова // *Прикладная информатика – Journal of Applied Informatics*. – 2018. – Т. 13, № 4(76). – С. 29–41.

3. Синтез информационной системы управления подсистемами технического обеспечения интеллектуальных зданий / О.Л. Викентьева, А.И. Дерябин, Л.В. Шестакова, А.В. Кычкин // *Вестник МГСУ*. – 2017. – Т. 12, № 10(109). – С. 1191–1201.

4. Кычкин А.В., Квитко Я.И. Архитектурно-функциональная организация информационной системы управления большими данными в промышленности и энергетике // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. – 2018. – № 25. – С. 109–125.

5. A survey: Cyber-physical-social systems and their system-level design methodology / J. Zeng, L.T. Yang, M. Lin, H. Ning, J. Ma // *Future Generation Computer Systems*. – 2016. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2016.06.034> (дата обращения: 03.01.2019).

6. Lee E.A. *Cyber Physical Systems: Design Challenges* // 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). – 2008. – P. 363–369.

7. Кычкин А.В., Костыгов А.М., Белоногов А.В. Автоматизация удаленного мониторинга энергоэффективности мобильной платформы // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. – 2016. – № 9. – С. 70–76.

8. Костыгов А.М., Кычкин А.В., Борковец К.А. Прогнозирование электропотребления здания на основе селективного выбора нейронной сети // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. – 2017. – № 9. – С. 75–82.

9. Шеремет А.Д., Ковалев А.П. *Функционально-стоимостный анализ: учеб. пособие / под ред. А.Д. Шеремета*. – М.: Изд-во эконом. ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2017. – С. 13–14.

10. Суслова Л.О., Сивякова М.В. *Функционально-стоимостной анализ как метод оценки инновационного проекта* // *Научный результат. Сер. Экономические исследования*. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 64–68.

11. Зорина Т.Ю., Чернышёва Т.Ю. *Методы оценки эффективности информационных систем* // *Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сб. науч. тр. II Междунар. конф.* – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – С. 142–144.

12. Анисифоров А.Б., Анисифорова Л.О. *Методики оценки эффективности информационных систем и информационных технологий в бизнесе: учеб. пособие*. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2014. – С. 19–75. – URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/3876.pdf/download/3876.pdf> (дата обращения: 03.12.2018).

13. Джамай Е.В., Сазонов А.А., Петров Д.Г. Адаптация метода функционально-стоимостного анализа для автоматизации управления предприятием (на примере авиационной промышленности) // *Вестник Гос. ун-та управления*. – 2016. – № 2. – С. 210–212.

14. Ксенофонтова О.Л., Новосельская Н.А. *ABC-XYZ-анализ как средство управления товарным ассортиментом торгового предприятия* //

Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2013. – № 2(34). – С. 70–76.

15. Шатунова Г.А., Кузьмина О.Н. Историко-логический генезис и периодизация этапов развития функционально-стоимостного анализа // Вестник Самар. гос. экон. ун-та. – 2012. – № 4(90). – С. 91–96.

16. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа: постановление ГКНТ №259 от 29.06.1982 г. // Экономическая газета. – 1982. – № 28.

17. Моисеев Н.К., Карпунин М.Г. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа: учеб. пособие для вузов. – М., 1988.

18. Рождение изобретения (стратегия и тактика решения изобретательских задач) / А.И. Гасанов, Б.М. Гохман, А.П. Ефимочкин, С.М. Кокин, А.Г. Сопельняк. – М: Интерпракс, 1995.

19. Абросимова Е.Б. Функционально-стоимостной анализ как инструмент бережливого производства // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 4, № 12. – С. 84–88.

20. Лесина Т.В. Функциональный учет и функциональный анализ инвестиций в автоматизированные информационные системы // Проблемы. Мнения. Решения. Международный бухгалтерский учет. – 2013. – № 7(253). – С. 31–36.

21. Кычкин А.В., Мусихина К.Г., Разепина М.Г. Исследование эффективности создания и внедрения системы энергоменеджмента на промышленном предприятии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 1(9). – С. 66–79.

22. Кычкин А.В., Микрюков Г.П. Метод обработки результатов мониторинга группы энергопотребителей // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 6. – С. 9–14.

23. Кычкин А.В., Артемов С.А., Белоногов А.В. Распределенная система энергомониторинга реального времени на основе технологии IoT // Датчики и системы. – 2017. – № 8–9(217). – С. 49–55.

24. Кычкин А.В. Программно-аппаратное обеспечение сетевого энергоучетного комплекса // Датчики и системы. – 2016. – № 7(205). – С. 24–32.

25. Архитектура сетевого управляющего комплекса здания на базе IoT-устройств / А.В. Кычкин, А.И. Дерябин, О.Л. Викентьева, Л.В. Шестакова // Датчики и системы. – 2018. – № 5(225). – С. 32–38.

26. Программно-аппаратный комплекс удаленного мониторинга и анализа энергетических параметров / А.В. Ляхомский, Е.Н. Перфильева, А.В. Кычкин, Н. Генрих // *Электротехника*. – 2015. – № 6. – С. 13–19.

27. ARM and DSP Based Device for Power Quality Monitoring / G. Yang, F. Wang, S. Cui, L. Zhao // *Advances in Electronic Engineering, Communication and Management*. Vol. 2: Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2012. – Vol. 140. – P. 163–168.

28. Федосов Ю.И. Функционально-идеальное моделирование // ТРИЗ. Практика применения и развитие методических инструментов: сб. докл. IX Междунар. конф.; Москва, 10–11 ноября 2017 г. Т.1: Инструменты постклассической ТРИЗ. – М., 2017. – С. 89–96.

References

1. Alguliyev R., Imamverdiyev Y., Sukhostat L. Cyber-physical systems and their security issues. *Computers in Industry*, 2018, no. 100, pp. 212-223.

2. Kychkin A.V., Deriabin A.I., Vikent'eva O.L., Shestakova L.V. Proektirovanie IoT-platforny dlia upravleniia energoresursami intellektual'nykh zdanii [IoT-platform design for smart buildings energy management]. *Prikladnaia informatika - Journal of Applied Informatics*, 2018, vol. 13, no. 4(76), pp. 29-41.

3. Vikent'eva O.L., Deriabin A.I., Shestakova L.V., Kychkin A.V. Sintez informatsionnoi sistemy upravleniia podsystemami tekhnicheskogo obespecheniia intellektual'nykh zdanii [Synthesis of the information management system for the subsystems of the technical support of intellectual buildings]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*, 2017, vol. 12, no. 10(109), pp. 1191-1201.

4. Kychkin A.V., Kvitko Ia.I. Arkhitekturno-funktsional'naia organizatsiia informatsionnoi sistemy upravleniia bol'shimi dannymi v promyshlennosti i energetike [Architectural and technological organization of the information system for managing large data in industry and energy]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2018, no. 25, pp. 109-125.

5. Zeng J., Yang L.T., Lin M., Ning H., Ma J. A survey: Cyber-physical-social systems and their system-level design methodology. *Future Generation Computer Systems*. Elsevier, 2016, available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2016.06.034> (accessed 03 January 2019).

6. Lee E.A. Cyber Physical Systems: Design Challenges. *11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, 2008, pp. 363-369.

7. Kychkin A.V., Kostygov A.M., Belonogov A.V. Avtomatizatsiia udalennogo monitoringa energoeffektivnosti mobil'noi platformy [Mobile platform energy efficiency automation remote monitoring]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravliaiushchie sistemy*, 2016, no. 9, pp. 70-76.

8. Kostygov A.M., Kychkin A.V., Borkovets K.A. Prognozirovaniie elektropotrebleniia zdaniia na osnove selektivnogo vybora neironnoi seti [Building power consumption forecasting based on the neuron network selective option]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravliaiushchie sistemy*, 2017, no. 9, pp. 75-82.

9. Sheremet A.D., Kovalev A.P. Funktsional'no-stoimostnyi analiz [Value analysis]. Ed. A.D. Sheremet. Moscow: Ekonomicheskii fakul'tet Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta imeni M.V. Lomonosova, 2017, pp. 13-14.

10. Suslova L.O., Siviakova M.V. Funktsional'no-stoimostnoi analiz kak metod otsenki innovatsionnogo proekta [Value analysis as a method of assessment of innovative project]. *Setevoi zhurnal «Nauchnyi rezul'tat»*. Ser. *Ekonomicheskie issledovaniia*, 2016, vol. 2, no. 2, pp. 64-68.

11. Zorina T.Iu., Chernysheva T.Iu. Metody otsenki effektivnosti informatsionnykh sistem [Methods for an assessment of efficiency of information systems]. *Informatsionnye tekhnologii v nauke upravlenii sotsialnoi sfere i meditsine Sbornik nauchnykh trudov II Mezhdunarodnoi konferentsii*. Tomsk: Tomskii politekhnicheskii universitet, 2015, pp. 142-144.

12. Anisiforov A.B., Anisiforova L.O. Metodiki otsenki effektivnosti informatsionnykh sistem i informatsionnykh tekhnologii v biznese [Methodologies for an assessment of efficiency of information systems and information technologies in business]. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet, 2014, pp. 19-75, available at: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/3876.pdf/download/3876.pdf> (accessed 03 December 2018).

13. Dzhamai E.V., Sazonov A.A., Petrov D.G. Adaptatsiia metoda funktsional'no-stoimostnogo analiza dlia avtomatizatsii upravleniia predpriiatiem (na primere aviatsionnoi promyshlennosti) [Adaptation of a method of the functional and cost analysis for business management automation (on the example of the aviation industry)]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta upravleniia*, 2016, no. 2, pp. 210-212.

14. Ksenofontova O.L., Novosel'skaia N.A. AVS-XYZ - analiz kak sredstvo upravleniia tovarnym assortimentom torgovogo predpriiatiia [ABC and XYZ analysis as mercantile business product assortment management instrument]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2013, no. 2(34), pp. 70-76.

15. Shatunova G.A., Kuz'mina O.N. Istoriko-logicheskie genезis i periodizatsiia etapov razvitiia funktsional'no-stoimostnogo analiza [Historical and logical origins and the periodization of the stages of development value analysis]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2012, no. 4(90), pp. 91-96.

16. Osnovnye polozeniia metodiki provedeniia funktsional'no-stoimostnogo analiza: Postanovlenie GKNT № 259 ot 29.06.1982 goda [The main provisions of the methodology of value analysis: SCST Decree No. 259 29.06.1982 year]. *Ekonomicheskaiа gazeta*, 1982, no. 28.

17. Moiseev N.K., Karpunin M.G. Osnovy teorii i praktiki funktsional'no-stoimostnogo analiza [Fundamentals of theory and practice of value analysis]. Moscow: 1988.

18. Gasanov A.I., Gokhman B.M., Efimochkin A.P., Kokin S.M., Sopel'niak A.G. Rozhdenie izobreniia (strategiia i taktika resheniia izobretatel'skikh zadach) [Birth of invention (strategy and tactics of inventive problem solving)]. Moscow: Interpraks, 1995.

19. Abrosimova E.B. Funktsional'no-stoimostnoi analiz kak instrument berezhlivogo proizvodstva [Value analysis as a tool of lean production]. *Uspekhi sovremennoi nauki*, 2016, vol. 4, no. 12, pp. 84-88.

20. Lesina T.V. Funktsional'nyi uchet i funktsional'nyi analiz investitsii v avtomatizirovannye informatsionnye sistemy [Functional accounting and functional analysis of investments in automated information systems]. *Problemy. Mneniia. Resheniia. Mezhdunarodnyi bukhgalterskii uchet*, 2013, no. 7(253), pp. 31-36.

21. Kychkin A.V., Musikhina K.G., Razepina M.G. Issledovanie effektivnosti sozdaniia i vnedreniia sistemy energomenedzhmenta na promyshlennom predpriatii [Establishment and implementation effectiveness research of an energy management system at the industrial enterprise]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotekhnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2014, no. 1(9), pp. 66-79.

22. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Metod obrabotki rezul'tatov monitoringa gruppy energopotrebitel'ei [Method of processing the result of monitoring the group of energy consumers]. *Energobezopasnost' i energoberezhenie*, 2016, no. 6, pp. 9-14.

23. Kychkin A.V., Artemov S.A., Belonogov A.V. Raspredelennaia sistema energomonitoringa real'nogo vremeni na osnove tekhnologii IoT [Distributed real-time energy monitoring system based on IoT technology]. *Datchiki i sistemy*, 2017, no. 8-9(217), pp. 49-55.

24. Kychkin A.V. Programmno-apparatnoe obespechenie setevogo energouchetnogo kompleksa [Software and hardware of the network energy-accounting complex]. *Datchiki i sistemy*, 2016, no. 7(205), pp. 24-32.

25. Kychkin A.V., Deriabin A.I., Vikent'eva O.L., Shestakova L.V. Arkhitektura setevogo upravliaiushchego kompleksa zdaniia na baze IoT-ustroistv [Architecture of the building management system based on IoT devices]. *Datchiki i sistemy*, 2018, no. 5(225), pp. 32-38.

26. Liakhomskii A.V., Perfil'eva E.N., Kychkin A.V., Genrikh N. Programmno-apparatnyi kompleks udalennogo monitoringa i analiza energeticheskikh parametrov [A software-hardware system of remote monitoring and analysis of the energy data]. *Elektrotekhnika*, 2015, no. 6, pp. 13-19.

27. Yang, G., Wang, F., Cui, S., Zhao, L. ARM and DSP Based Device for Power Quality Monitoring. *Advances in Electronic Engineering, Communication and Management. Vol. 2. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2012, vol. 140, pp. 163-168.

28. Fedosov Iu.I. Funktsional'no-ideal'noe modelirovanie [Functional-ideal modeling]. *TRIZ. Praktika primeneniia i razvitie metodicheskikh instrumentov. Vol. 1. Instrumenty postklassicheskoi TRIZ. Sbornik dokladov IX Mezhdunarodnoi konferentsii*, 10-11 November 2017. Moscow, 2017, pp. 89-96.

Сведения об авторах

Неганова Эльвира Анатольевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Информационные технологии в бизнесе» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (614070, Пермь, Студенческая, 38, e-mail: neganova.elvira@yandex.ru).

Марквирер Владлена Дмитриевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Информационные технологии в бизнесе» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (614070, Пермь, Студенческая, 38, e-mail: Vladlena_Markvirer@mail.ru).

Плаксин Михаил Александрович (Пермь, Россия) – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационные технологии в бизнесе» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», доцент кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета (614070, Пермь, Студенческая, 38, e-mail: mapl@list.ru).

Дерябин Александр Иванович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии в бизнесе» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», академический руководитель образовательной программы «Информационная аналитика в управлении предприятием» (614070, Пермь, Студенческая, 38, e-mail: aderyabin@hse.ru).

About the authors

Neganova Elvira Anatolevna (Perm, Russian Federation) is a Master Student department of information technologies in business National Research University Higher School of Economics (614070, Perm, 38, Studencheskaya str., e-mail: neganova.elvira@yandex.ru).

Markvirer Vladlena Dmitrievna (Perm, Russian Federation) is a Master Student department of information technologies in business National Research University Higher School of Economics (614070, Perm, 38, Studencheskaya str., e-mail: Vladlena_Markvirer@mail.ru).

Plaksin Mikhail Aleksandrovich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor of the department of information technologies in business of the National Research University Higher School of Economics, Associate Professor of computer science department of Perm State National Research University (614070, Perm, 38, Studencheskaya str., e-mail: mapl@list.ru).

Deryabin Alexander Ivanovich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the department of information technologies in business of the National Research University Higher School of Economics, supervisor of the academic programme “Information Analytics in Enterprise Management” (614070, Perm, 38, Studencheskaya str., e-mail: aderyabin@hse.ru).

Получено 17.01.2019