

УДК 519.816

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/47/01>

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ**

©*Куренных А. Е.*, ORCID: 0000-0001-5200-1775, SPIN-код: 3277-7985,  
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва, Россия, alexey.kurennykh@gmail.com

©*Судаков В. А.*, ORCID: 0000-0002-1658-1941, SPIN-код: 1614-4760, д-р техн. наук,  
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН,  
г. Москва, Россия, sudakov@ws-dss.com

## **SOFTWARE PACKAGE FOR PLANNING AND OPTIMIZATION OF MANAGEMENT DECISIONS BASED ON MULTI-AGENT MODELS**

©*Kurennykh A.*, ORCID: 0000-0001-5200-1775, SPIN-code: 3277-7985,  
Moscow Aviation Institute (National Research University),  
Moscow, Russia, alexey.kurennykh@gmail.com

©*Sudakov V.*, ORCID: 0000-0002-1658-1941, SPIN-code: 1614-4760, Dr. habil,  
Keldysh Institute of Applied Mathematics (RAS), Moscow, Russia, sudakov@ws-dss.com

*Аннотация.* В данной работе авторы приводят описание архитектуры программной системы, позволяющей решать задачи планирования и оптимизации управленческой деятельности на проектах по разработке корпоративных информационных систем. Процесс подготовки и ведения таких проектов с учетом современных тенденций является достаточно трудоемкой задачей, которая требует использования специальных программных продуктов, таких как: системы поддержки принятия решений и системы мультиагентного моделирования, которые позволяют за приемлемое время анализировать сложные взаимосвязанные процессы, а также принимать рациональные, математически обоснованные решения. В рамках рассматриваемой архитектуры системы было реализовано алгоритмическое и программное обеспечение, используемое в мультиагентной модели процесса проектной деятельности по разработке корпоративных информационных систем. Взаимодействие внутри комплекса реализовано посредством технологии RESTful API, а его составляющие спроектированы с применением каркасной архитектуры, что в совокупности обеспечивает высокую гибкость настройки решения, легкую адаптируемость под большое количество предметных областей, кросс-платформенность а также универсальность основных модельных алгоритмов, методов ранжирования альтернатив и оптимизации управленческих решений. Ориентация на web-интерфейсы дает широкие возможности для интеграции с сервисами для управления проектами и задачами, например, RedMine или Jira, использование которых открывает доступ к анализу большого количества статистической информации об участниках процесса, о задачах, которые необходимо будет решить в планируемом периоде, а также использовать эту информацию для построения точных моделей. Практическая значимость представленной работы заключается в автоматизации деятельности лица, ответственного за планирование и управление в проектной деятельности, за счет применения строгих обоснованных математических подходов, обеспечивающих рационализацию принимаемых решений, что ведет к несомненным финансовым выгодам и минимизации рисков.

*Abstract.* In this paper, the authors describe the architecture of a software system that allows to solve the problems of planning and optimizing project management activities during the development of corporate information systems. The process of preparing and conducting such projects, taking into account current trends, is a rather time-consuming task, which requires the use of special software products, such as: decision support systems and multi-agent modeling systems, which allow for an acceptable time to analyze complex interrelated processes, as well as to take rational, valid decisions. Within the framework of the system architecture under consideration, the algorithmic and software used in the multi-agent model of the project activity process for developing corporate information systems were implemented. Interaction within the complex is implemented using RESTful API technology, and its components are designed using a wireframe architecture, which together provides high flexibility for customizing the solution, easy to adapt for a large number of tasks, cross-platform compatibility, as well as universality of the basic model algorithms, ranking methods for alternatives and optimization module. Orientation to web-based interfaces provides major opportunities for integration with project management services and tasks, for example, RedMine or Jira, that allows to access and analyze a large amount of statistical information about the participants of the process, about tasks that have to be solved in the planning period, and also use this information to build valid models. The practical significance of this research lies in the automation of the activities of the person responsible for planning and management in the project activity, through the application of rigorous well-founded mathematical approaches that rationalize decisions that lead to undoubted financial benefits and risks minimization.

*Ключевые слова:* информационная система, мультиагентное моделирование, поддержка принятия решений.

*Keywords:* information system, multiagent model, decision support.

### *Введение*

На многих российских предприятиях и производственных объединениях в настоящее время отчетливо видна тенденция освоения и внедрения комплексных пакетов информационных систем (ИС). К таким системам относятся системы управления ресурсами предприятия (ERP), системы конструкторской документации, бюджетные модули, системы управления производством, системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM), средства интеллектуального анализа данных (BI), системы управления качеством и другие. Интерес к таким системам обусловлен рядом причин: низкий уровень автоматизации большинства предприятий, высокие требования к отчетности по финансово-хозяйственной деятельности, кроме того, проекты по созданию и внедрению информационных систем сейчас особенно распространены в связи с импортозамещением зарубежных ИС отечественными. Таким образом, текущие тенденции обеспечили достаточно большой поток заказчиков разработки и внедрения ИС, что требует от разработчиков программных комплексов оптимального планирования собственной деятельности для того, чтобы обеспечить требуемую полноту функциональных требований заказчика, высокое качество разрабатываемых продуктов, а также для максимизации выгоды от выполнения большого количества проектов в сжатые сроки.

Общей целью проводимого исследования является построение комплекса программных средств, включающего в себя модуль с мультиагентными моделями процесса разработки и внедрения ИС — одной из парадигм имитационного моделирования [1], где все участники

процесса выступают в качестве интеллектуальных агентов определенного типа со своими системами ценностей и функциями предпочтений. Другой значимой частью комплекса является система поддержки принятия решений (СППР), которая используется для сравнения альтернатив и оценки принимаемых решений, более того, в комплекс должны быть включены блоки оптимизации и блоки статистических данных.

Подходы к организации проектной деятельности в IT сфере формировались долгие годы и непрерывно адаптируются под меняющиеся требования рынка [2–3]. С целью оптимизации проектных работ представлены различные методологии организации внутригруппового взаимодействия исполнителей, а также взаимодействия между группами [4], однако ни одна методология не даст ответ на вопрос какой исполнитель будет наиболее надежным и подходящим для выполнения очередной задачи. В математическом программировании известны оптимизационные задачи о назначениях [5–6], за счет применения которых можно обеспечить рациональность выбора исполнителей, привлекаемых к проекту, однако ключевой момент в решении задачи о назначениях – матрица потерь, которая зачастую является субъективной точкой зрения ее составителя. Кроме того, особое место в проектной деятельности играет управление рисками [7–8], минимизация которых может быть достигнута благодаря строгому формализованному подходу к выбору исполнителей на проект, оптимизации их назначений на задачи, строгому планированию проблем, подлежащих решению.

Основная идея проводимого авторами исследования состоит в том, что развитие проекта по наиболее рациональному сценарию может быть обеспечено за счет применения и анализа моделей, а также их оптимизации на стадии подготовки, планирования и формировании оперативных графиков работ. Методы рационализации компьютерных моделей рассмотрены в работе [9], а также авторам известен пример применения мультиагентной модели для процесса разработки ИС [10], однако реализация данной модели является достаточно специфичной и не позволяет анализировать проблемы создания ИС всесторонне. Таким образом, можно заключить, что исследуемая авторами проблема и разрабатываемое методическое, алгоритмическое и программное обеспечение являются научно и практически значимыми.

#### *Постановка задачи*

В представленном исследовании рассматривается следующая содержательная постановка задачи: пусть владелец проблемы — руководитель предприятия, желающий повысить уровень автоматизации, заказал у исполнителя разработку и внедрение набора корпоративных ИС. При этом были достигнуты договоренности об объеме работ, укрупненном перечне функциональных требований, а также был согласован бюджет проекта. При таком стечении обстоятельств руководителю проекта со стороны исполнителя необходимо составить план работ, спланировать затраты, прибыль и возможные убытки по направлениям. Особенно актуальной проблемой является применение оптимального планирования, т.к. от базового долгосрочного плана зависит успех проекта в целом. Для целей обеспечения рационального планирования авторам исследования необходимо разработать архитектуру и программное обеспечение для комплекса планирования и оптимизации управленческих решений.

#### *Материал и методы исследования*

Центральным объектом в исследовании является мультиагентная модель процесса разработки ИС, где в качестве интеллектуальных агентов выступают следующие участники

процесса: заказчик, руководитель проекта, архитектор, разработчики, тестировщики, консультанты, которые по каждой задаче выполняют строго определенный типовой цикл работ, который представлен на Рисунке 1.

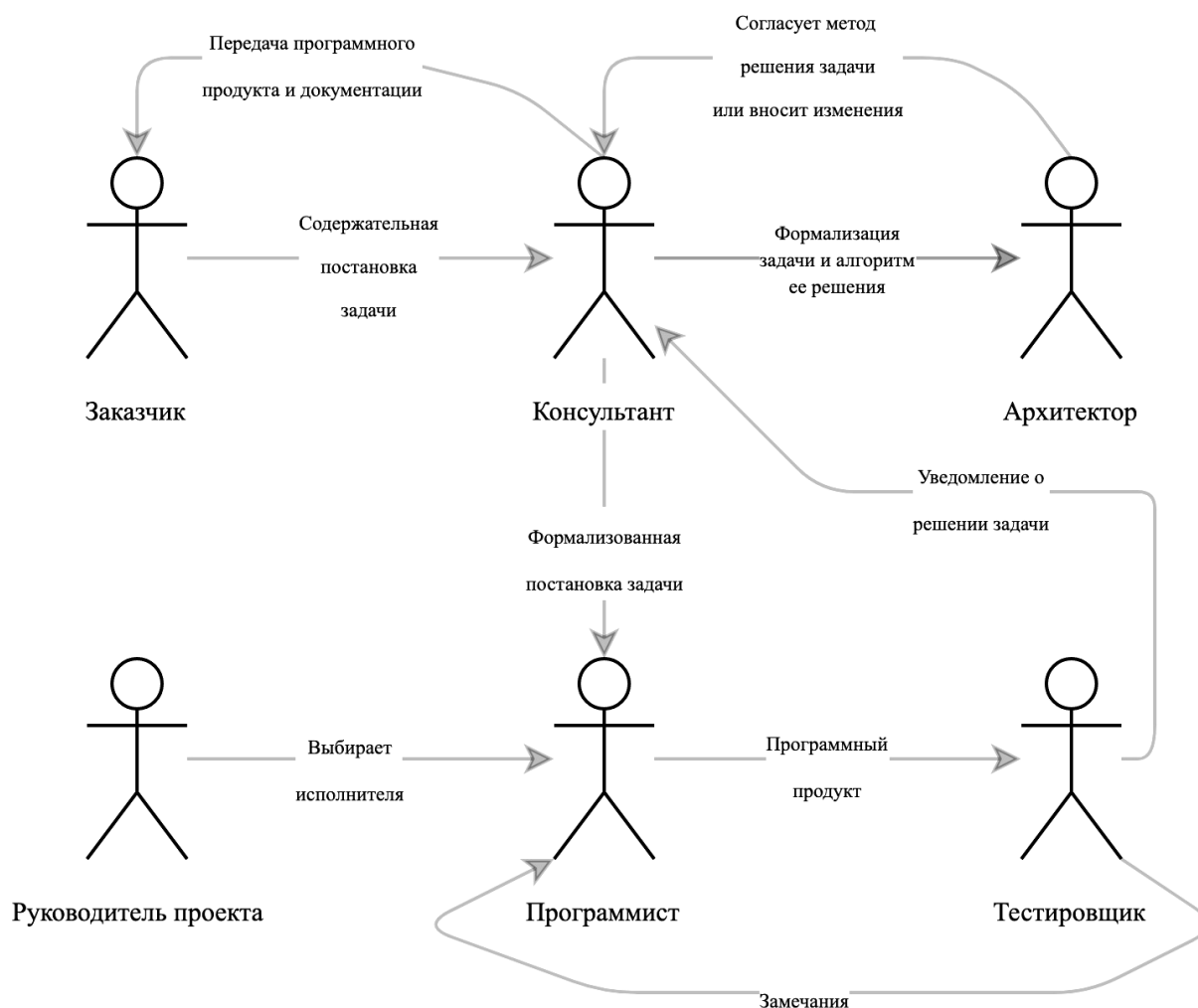


Рисунок 1. Взаимодействие агентов.

У каждого из них есть свои функции предпочтений относительно решаемых задач, обусловленные опытом и знаниями в рассматриваемой предметной области, исключениями являются руководитель проекта и архитектор, компетентность которых позволяет работать с любыми задачами. Ключевым моментом в прохождении очередного цикла модельных событий является выбор программиста руководителем проекта, т. к. данный фактор полностью определяет качество и скорость решения задачи. В большинстве случаев ситуация такова, что для решения одной задачи можно выбрать одного из нескольких свободных исполнителей, а главная задача руководителя — выбрать программиста оптимально [11]. В этот момент появляется необходимость использования модуля оптимизации, который может получать данные компьютерного эксперимента мультиагентной модели, а также использовать математический аппарат теории принятия решений, заложенный в СППР.

Следующий вопрос, который на данный момент остается нерешенным, — это построение долгосрочного плана работ по разработке программного обеспечения, автоматизирующего бизнес-процессы предприятия заказчика. Для его реализации в состав программного комплекса, в который в данный момент входят моделирующая система, модуль

оптимизации и СППР, необходимо добавить модуль планирования проектных работ, цель которого решать следующие задачи:

– построение укрупненного плана работ в виде ориентированного графа, включающего перечень и взаимосвязь систем и модулей корпоративных ИС, которые входят в заказ. Этот процесс можно достаточно легко автоматизировать, т.к. базовые процессы предприятий являются типовыми. Пример такого графа показан на Рисунке 2:

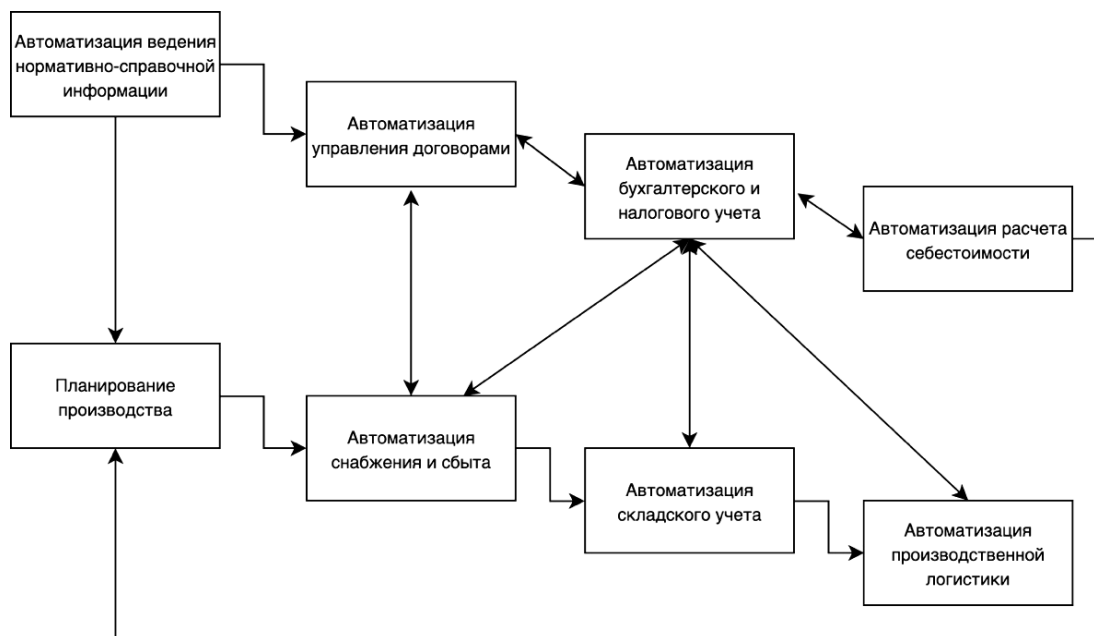


Рисунок 2. Укрупненный план работ.

На данном рисунке показана взаимосвязь между некоторыми основными модулями ERP системы; детализация укрупненного плана работ до уровня функциональных требований модулей и подсистем, включающая планирование частных задач. Алгоритмизировать этот процесс в полном объеме невозможно, т.к. у каждого предприятия своя специфика работы, однако есть общие закономерности, которые определяются, опять же, спецификой работы предприятия. Например, если предприятие выполняет государственные оборонные заказы (ГОЗ), то согласно 275-ФЗ (1) в ИС необходимо реализовать отдельный учет. Если предприятие работает с драгоценными металлами (ДМ) и/или камнями, разрабатываемая ИС должна удовлетворять требованиям 41-ФЗ (2). На Рисунке 3 показано как такие особенности могут расширять требования к функционалу отдельных модулей:

Прямоугольниками показаны некоторые базовые функции, которые должны быть автоматизированы в складском учете, а прямоугольниками со скругленными краями показаны дополнительные функциональные требования.

– детализация уточненного плана работ локальными задачами на основе вероятностного подхода. Каждая компания разработчик программного обеспечения использует инструментальные средства для управления проектами и задачами, например, RedMine или Jira, по которым можно собирать статистику о выполненных задачах в разрезе видов деятельности и особенностей предприятий заказчиков корпоративных ИС за всю историю деятельности. Таким образом, можно по накопленной статистике определять вероятность необходимости решения тех или иных задач. Ярким примером таких факторов деятельности предприятия является соотношение между серийным и опытным производством, а влияние этого фактора на граф задач показано на Рисунке 4:

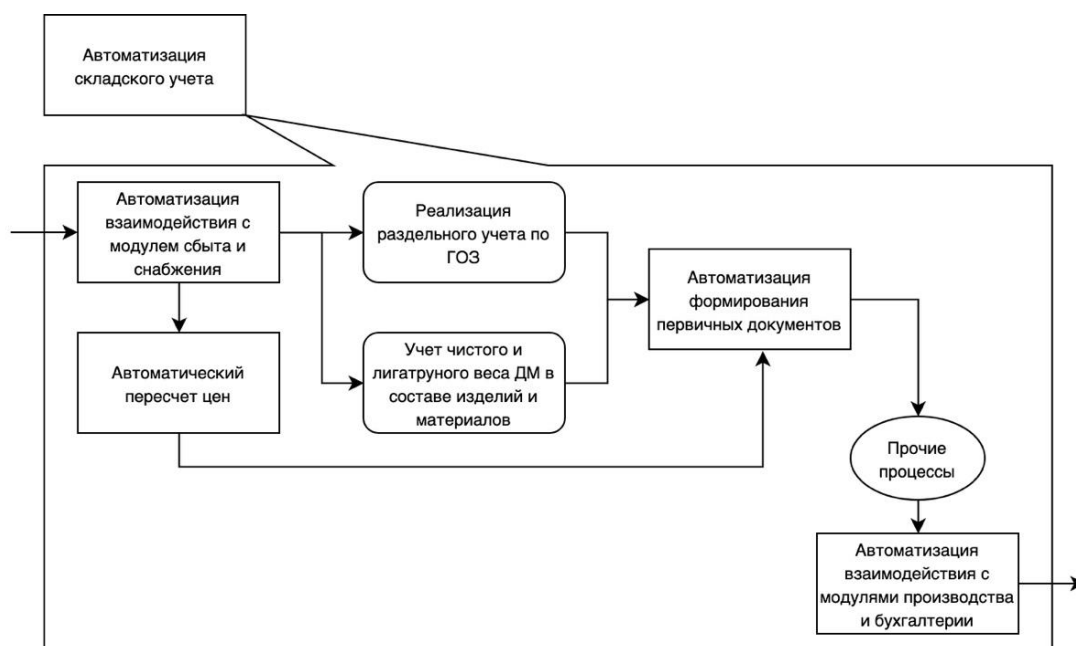


Рисунок 3. Раскрытие функционала складского учета.

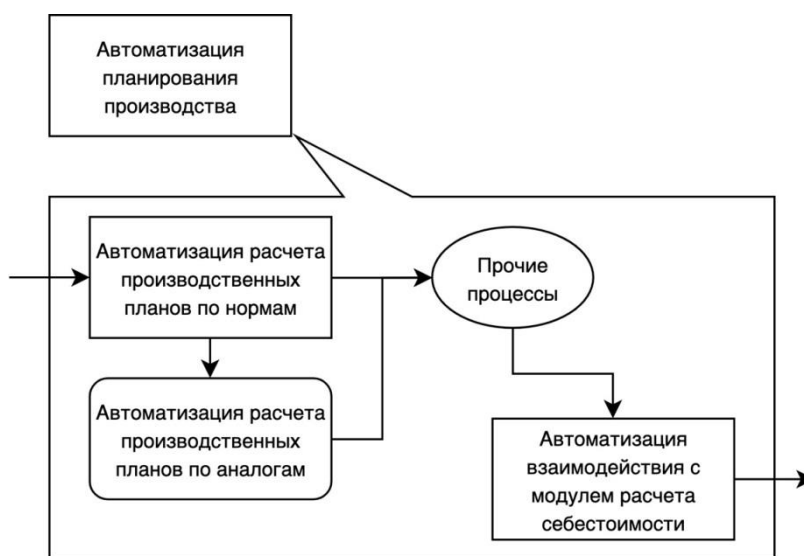


Рисунок 4. Раскрытие функционала планирования производства.

Скругленным прямоугольником показан функционал, который статистически вероятен для предприятия с опытным производством.

Учитывая вышесказанное, в программный комплекс добавляются еще две составляющие: модуль планирования и инструментальное средство для управления проектами. Для конкретики укажем, что используемым в данной работе средством по управлению проектами является система RedMine.

Заключительным этапом в проектировании комплекса для планирования управленческих решений является расширение модуля оптимизации алгоритмами рационализации компьютерных моделей, который работает по принципу подбора входных данных с учетом заданных ограничений для обеспечения максимизации или минимизации векторного критерия результатов моделирования [12].

Таким образом, схема архитектуры разрабатываемого программного комплекса приобретает следующий вид, представленный на Рисунке 5.

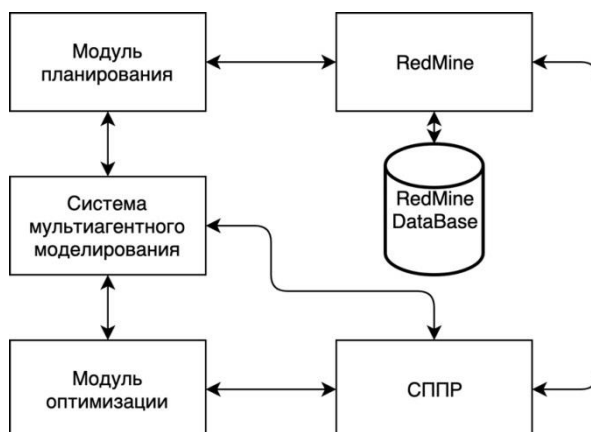


Рисунок 5. Архитектура программного комплекса.

### Результаты и обсуждение

Для выбранной архитектуры программного комплекса было разработано соответствующее программное обеспечение, а между компонентами был реализован обмен данными с использованием современных кросс-платформенных технологий. Мультиагентная модель была реализована с помощью языка C# с использованием объектного подхода, диаграмма основных классов показана на Рисунке 6.

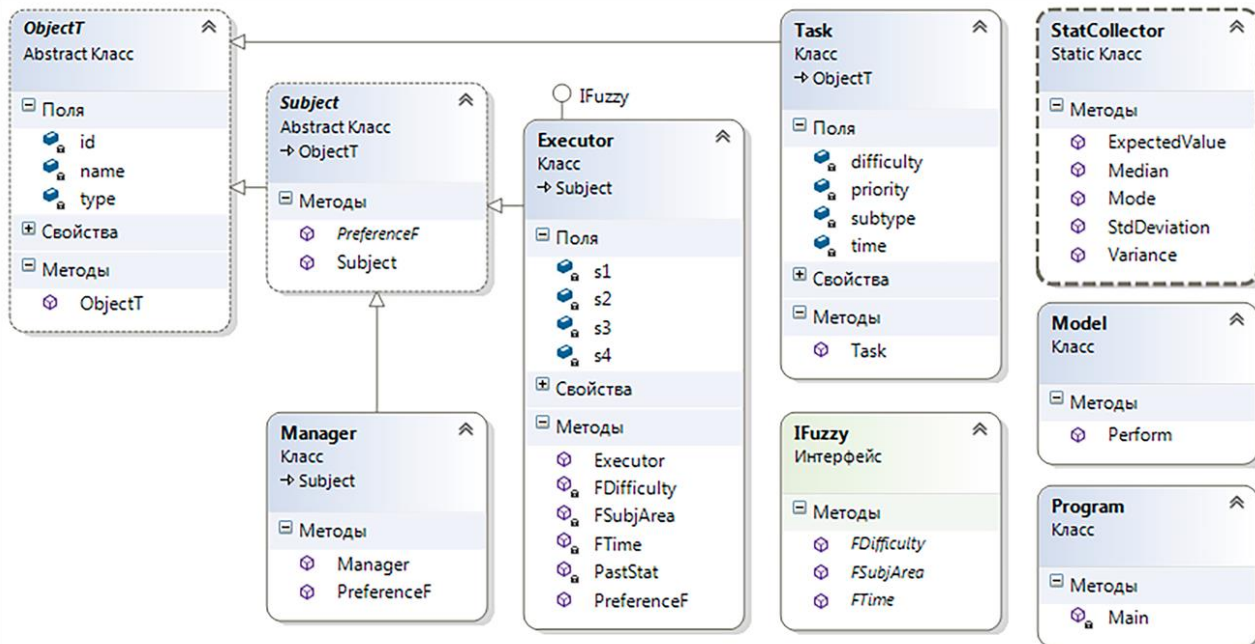


Рисунок 6. Диаграмма некоторых классов мультиагентной модели.

Система поддержки принятия решений и оптимизационный модуль реализованы по каркасной архитектуре в виде распределенных web-сервисов ws-dss.com, к которым есть открытый доступ для студентов и исследователей посредством http протокола. На Рисунке 7 показаны результаты ранжирования исполнителей, из которых эксперту необходимо выбрать одного для решения очередной задачи.



```
{
  "criteria_weight": [2,5,2,2,3],
  "criteria_dir": ["max","max","max","max","max"],
  "criteria_values": [[1.0152,0.9831,1.5379,0.8648,0.9571,1.1292], [114,67,45,24,58,99],
[2.5641,3.7083,1.1195,3.2173,4.1304,3.7735],
[141,89,103,74,95,200],
[0.8672,1.0000,0.5137,0.7623,0.9318,1.000]]
}

{
  "alternative_rank": [
    0.689,
    0.55,
    0.259,
    0.209,
    0.505,
    0.837
  ],
  "trace": [
    "Число альтернатив: 6",
    "Число критериев: 5",
    "Нижние границы значений: [0.8648, 24, 1.1195, 74, 0.5137]",
    "Верхние границы значений: [1.5379, 114, 4.1304, 200, 1.0]",
    "Нормированные значения весов:[0.1429, 0.3571, 0.1429, 0.1429, 0.2143]",
    "Нормированные значения критериев:[0.2234, 0.1758, 1.0, 0.0, 0.1371, 0.3928], [1.0, 0.4778, 0.2333, 0.0, 0.3778, 0.8333], [0.4798, 0.8598, 0.4798, 0.8598, 0.4798, 0.8598]"
  ]
}
```

Рисунок 7. Web–сервисы для поддержки принятия решений.

Стоит отметить, что в данный момент процесс компьютерного эксперимента не имеет визуализации, пользователю доступен только отчет по результатам расчетов и преобразований входных данных. Разработка пользовательского интерфейса с визуализацией графов задач и их модернизации в процессе каскадного планирования является приоритетной задачей для авторов.

### Заключение

В рассмотренной работе была описана архитектура программного комплекса для планирования и оптимизации управленческих решений. Представлены основные этапы алгоритмов планирования проектной деятельности, а также была разработана методика оптимизации управленческих решений, в основу которой заложена многолетняя статистика, которая ведется по исполнителям и другим проектам компании-разработчика программного обеспечения.

Как уже было отмечено ранее, одним из перспективным направлений развития исследования является разработка пользовательского интерфейса для анализа процесса моделирования, после разработки которого возможно будет протестировать данную разработку на реальных данных российской компании-разработчика программного обеспечения.

*Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-00-00012 (18-00-00011) КОМФИ.*

### Источники:

- (1). Федеральный закон «О государственном оборонном заказе» от 29.12.2012 №275-ФЗ.



(2). Федеральный закон «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» от 26.03.1998 №41-ФЗ.

*Список литературы:*

1. Кутузов О. И., Татарникова Т. М. К анализу парадигм имитационного моделирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. №3. С. 552-558. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-3-552-558>
2. Marcinkowski B., Gawin B. Project Management in International IT Ventures - Does the Practice Go Hand in Hand with Theory? // Proc. Information Systems: Development, Research, Applications, Education. Gdansk, Poland, 2016. P. 144-152. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46642-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46642-2_10)
3. Nguyen T. D., Luc K. V. T. Information Systems Success: Empirical Evidence on Cloud-based ERP // Lecture Notes in Computer Science. 2018. P. 471-485. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03192-3\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03192-3_36)
4. Mihaela-Dima A., Maassen M. A. From Waterfall to Agile software: Development models in the IT sector, 2006 to 2018. Impacts on company management // Journal of International Studies. 2018. №11. P. 315-326. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2018/11-2/21>
5. Хахулин Г. Ф., Красовская М. А., Булыгин В. С. Теоретические основы автоматизированного управления (задачи, методы, алгоритмы теории оптимального планирования и управления). М.: МАИ, 2005. 395 с.
6. Бродецкий Г. Л., Гусев Д. А. Экономико-математические методы и модели в логистике. Процедуры оптимизации. М.: Академия, 2012. С. 163-176.
7. Belás J., Bartoš P., Ključnikov A., Doležal J. Risk perception differences between micro-, small and medium enterprises // Journal of international studies. 2015. №8. P. 20-30.
8. Tavares B. Risk Management Analysis in Software Projects which Use the Scrum Framework. 2016 // Intl. Trans. in Op. Res. <https://doi.org/10.1111/itor.12401>
9. Куренных А. Е., Судаков В. А. Поддержка принятия решений на основе имитационного моделирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. №2. С. 348-353. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-2-348-353>
10. Huin S. F. Managing deployment of ERP systems in SMEs using multiagents // International Journal of Project Management. 2004. V. 22. №6. P. 511-517.
11. Зайцев А. А., Куренных А. Е., Судаков В. А., Романов О. Т. Рациональный выбор исполнителей на проектах по созданию информационных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. №2. С. 292-298. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-2-292-298>
12. Sudakov V., Nesterov V., Kurennykh A. Integration of decision support systems Kosmos and WS-DSS with computer models // 2017 10th Int. Conf. Management of Large-Scale System Development (MLSD). Moscow, 2017. P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/MLSD.2017.8109690>

*References:*

1. Kutuzov, O. I., & Tatarnikova, T. M. (2017). On the simulation paradigm analysis. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 17(3), 552-558. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-3-552-558> (in Russian)
2. Marcinkowski, B., & Gawin, B. (2016). Project Management in International IT Ventures - Does the Practice Go Hand in Hand with Theory? *Proc. Information Systems: Development*,

*Research, Applications, Education. Gdansk, Poland*, 144-152. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46642-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46642-2_10)

3. Nguyen, T. D., & V. T. Luc, K. (2018). Information Systems Success: Empirical Evidence on Cloud-based ERP. *Lecture Notes in Computer Science*, 471-485. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-03192-3\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-030-03192-3_36)

4. Mihaela-Dima, A., & Maassen, M. A. (2018). From Waterfall to Agile software: Development models in the IT sector, 2006 to 2018. Impacts on company management. *Journal of International Studies*, 11. 315-326. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2018/11-2/21>

5. Khakhulin, G. F., Krasovskaya, M. A., & Bulygin, V. S. (2005). Teoreticheskiye osnovy avtomatizirovannogo upravleniya (zadachi, metody, algoritmy teorii optimal'nogo planirovaniya i upravleniya). Moscow, MAI, 395. (in Russian).

6. Brodetskiy, G. L., & Gusev, D. A. (2012). Ekonomiko-matematicheskiye metody i modeli v logistike. Protsedury optimizatsii. Moscow, Akademiya, 163-176. (in Russian).

7. Belás, J., Bartoš, P., Ključnikov, A., & Doležal, J. (2015). Risk perception differences between micro-, small and medium enterprises. *Journal of international studies*, (8), 20-30.

8. Tavares, B. (2016). Risk Management Analysis in Software Projects which Use the Scrum Framework. *Intl. Trans. in Op. Res.* <https://doi.org/10.1111/itor.12401>

9. Kurennykh, A. E., & Sudakov, V. A. (2017). Decision support based on simulation. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 17(2), 348-353. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2017-17-2-348-353> (in Russian).

10. Huin, S. F. (2004). Managing deployment of ERP systems in SMEs using multiagents. *International Journal of Project Management*, 22(6), 511-517.

11. Zaytsev, A. A., Kurennykh, A. E., Sudakov, V. A., & Romanov, O. T. (2019). Rational selection of work performers for information system design projects. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 19(2), 292-298. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-2-292-298> (in Russian)

12. Sudakov, V., Nesterov, V., & Kurennykh, A. (2017). Integration of decision support systems Kosmos and WS-DSS with computer models. *2017 10th Int. Conf. Management of Large-Scale System Development (MLSD). Moscow, 1-4.* <https://doi.org/10.1109/MLSD.2017.8109690>

Работа поступила  
в редакцию 10.09.2019 г.

Принята к публикации  
15.09.2019 г.

Ссылка для цитирования:

Куренных А. Е., Судаков В. А. Программный комплекс для планирования и оптимизации управленческих решений на базе мультиагентных моделей // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №10. С. 9-18. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/47/01>

Cite as (APA):

Kurennykh, A., & Sudakov, V. (2019). Software Package for Planning and Optimization of Management Decisions Based on Multi-agent Models. *Bulletin of Science and Practice*, 5(10), 9-18. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/47/01> (in Russian).