

УДК 620.9.001.5

СПЕЦИФИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АРХИТЕКТУРЫ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

А.Ю. Рыгалов, Ю.П. Кубарьков, Я.В. Макаров

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены основные виды архитектур агентов, применимых в энергетике, рассматриваются возможности применения этих архитектур при моделировании агентов электроэнергетической системы. Рассматриваются архитектуры мультиагентных систем (МАС), в состав которых входят эти агенты, и способы организации взаимодействия агентов в подобных системах. Дается классификация моделей взаимодействия агентов и их подробное описание, отмечаются их достоинства и недостатки, возможность применения в энергетике. Делается вывод о целесообразности применения архитектуры, в основе которой лежит опосредованная модель взаимодействия агентов с общей моделью энергосистемы, определяющей как возможные восприятия агентов, так и возможности их воздействия друг на друга.

Ключевые слова: агент, мультиагентная система, энергетика, механизмы взаимодействия.

Агентом электроэнергетической системы является автономная программно-техническая единица, представляющая определенный элемент системы (трансформатор, линию, подстанцию), который способен к взаимодействию с такими же элементами системы для решения сложных задач, принятию тех или иных решений в соответствии со своими целями и обладающий интеллектом благодаря возможности обучения.

Прежде всего необходимо дать определение действиям агента. Действия являются элементами, заложенными в основу поведения агентов: они могут вызывать изменения в окружающей среде или в других агентах. Можно представить несколько моделей для описания действий агентов:

- глобальное преобразование состояния системы (изменение режима работы системы);
- локальное изменение окружающей среды (отключение одного из параллельно работающих трансформаторов при его недостаточной нагрузке);
- ответная реакция на воздействие (отключение КЗ агентами релейной защиты);
- вычислительные процессы, осуществляемые внутри агента и необходимые для восприятия полученных данных и изменения своего состояния (при отключении оператором линии агент линии, получая информацию с датчиков, делает соответствующие выводы и переходит в режим ожидания и диагностики);
- перемещение агента в окружающей среде (перемещение диагностирующе-

Алексей Юрьевич Рыгалов, ассистент кафедры «Электрические станции».

Юрий Петрович Кубарьков (д.т.н., доц.), профессор кафедры «Электрические станции».

Ярослав Викторович Макаров, ассистент кафедры «Электрические станции».

го агента с одного сервера на другой для выполнения своих функций).

Поведение агентов также включает в себя механизмы выбора того или иного действия, которые будут выполняться в соответствии с имеющимися данными и состоянием агента [1, 2]. В любой электрической схеме сети присутствуют линии электропередачи, которые снабжены индивидуальной защитой, реагирующей на то или иное повреждение. При этом для линии электропередач целесообразно моделировать соответствующую защиту линии своим собственным агентом. Преимущества такого подхода будут следующие: во-первых, можно разграничить деятельность агентов и модель будет наиболее достоверно соответствовать реальной сети; во-вторых, можно исключить перегруженность задачами агентов линий. Таким образом, при возникновении короткого замыкания на линии ее будет отключать именно агент релейной защиты, представляя соответствующую информацию агенту линии.

Термин «архитектура» относится к внутренней структуре агента, которая отвечает за выбор действия. Различные виды архитектур агентов, которые необходимы для получения определенного поведения агентов, можно разделить на соощательные и реактивные.

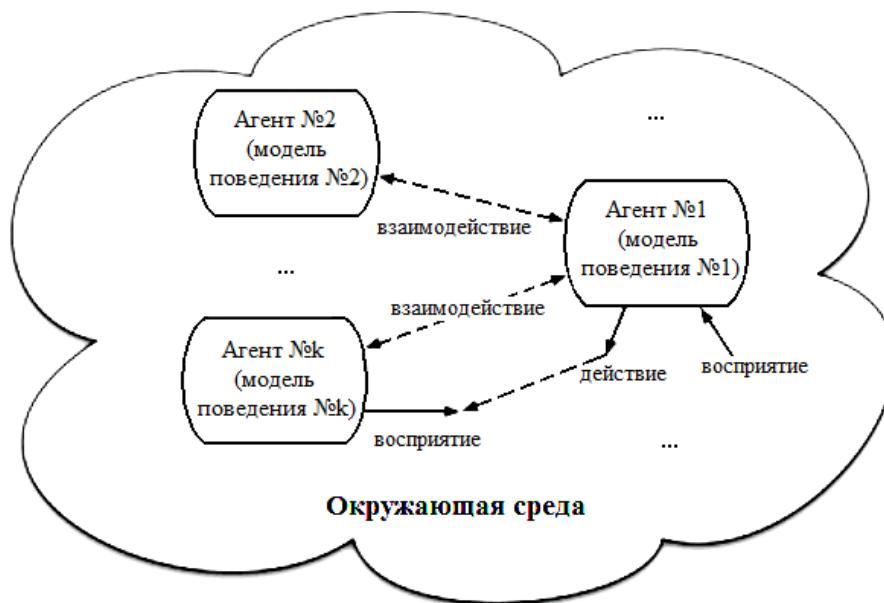


Рис. 1. Абстрактная модель для анализа взаимодействия

Реактивные агенты – это агенты, которые находятся в некоторой окружающей среде, они очень часто не обладают внутренней памятью [3]. Реактивные агенты выполняют конкретные действия только после восприятия определенных сигналов – либо от других агентов, либо из окружающей среды (характерным примером является агент релейной защиты, который, получая сигнал от реагирующих органов, отключает свою линию при превышении протекающего по ней тока). Как правило, поведение этого вида агентов представляет собой набор действий с учетом определенных условий (например, в зависимости от вида короткого замыкания для агентов релейной защиты возможны различные действия – подача предупреждающего сигнала, отключение соответствующего элемента), а

28

также предусматривает возможность выбора стратегии при действии сразу нескольких ограничений (условия отстройки агента релейной защиты, например при возникновении короткого замыкания на соседней линии или при резервировании основной защиты линии). В этом случае мотивация к тому или иному действию происходит от инициирующего события, обнаруженного в окружающей среде (короткое замыкание в линии); эти агенты по своей сути не могут быть активными.

Совещательные или когнитивные агенты, наоборот, характеризуются более сложным механизмом выбора действия ввиду того, что все агенты должны прийти к соглашению о распределении обязанностей и приемлемости полученного решения. Например, при прогнозировании графиков нагрузки и соответственном распределении нагрузки между несколькими станциями различного типа необходимо учитывать большое количество лимитирующих факторов. А также каждый агент имеет представление об окружающей среде и память о прошлых своих действиях, благодаря чему возможно обучение агентов и, таким образом, ускоренное нахождение решения на основе похожих условий. Для каждой возможной последовательности восприятий совещательные агенты стараются подобрать такую последовательность действий, которая позволит им достичь поставленной цели (например достигнуть минимума потерь за определенный период или на определенном участке). Совещательные модели, как правило, связаны с операциями планирования, и их решения основываются на логических рассуждениях и символьных манипуляциях (сложные вычислительные процессы, совместное согласование действий).

Имеется возможность создания гибридной архитектуры, объединяющей предыдущие виды архитектур. Агенты могут иметь многоуровневую структуру, где совещательные уровни, основанные на символическом представлении окружающего мира, занимаются планированием и принятием решений (для неизвестных возмущений в системе или ее неизвестных ранее состояний), в то время как реактивные уровни выполняют определенные действия, реагируя на внешние факторы. В соответствии с этим были рассмотрены вертикальная и горизонтальная архитектуры.

При горизонтальной архитектуре результаты различных уровней необходимо объединять для получения «итогового поведения» агента. Когда слои расположены вертикальным образом, реактивные уровни имеют более высокий приоритет по сравнению с совещательными, которые активируются только тогда, когда нет реактивного поведения, вызванного восприятием внешних воздействий.

Структура МАС включает в себя когнитивные агенты (с малым числом совещательных агентов), каждый из которых обладает своей моделью знаний, определяющей его поведение и его взаимодействие. Однако МАС может также состоять только из реактивных агентов. Этот тип системы основан на том, что для демонстрации интеллектуального поведения системы не обязательно, чтобы каждый агент был интеллектуален.

Системы, состоящие из реактивных агентов, как правило, более надежны и отказоустойчивы (например, агент может быть удален из системы без катастрофических последствий для нее). Другие преимущества заключаются в общей гибкости и адаптации реактивных систем в отличие от совещательных систем, которым присуща некоторая инертность. В системе может быть структура с неоднородным составом реактивных и совещательных агентов, что наиболее актуально для российской энергетики.

При этом взаимодействие агентов является ключевым аспектом. Особенно в свете концепции интеллектуальных сетей, которые подразумевают передачу информации параллельно энергии. Существует множество определений понятия агента, и большинство из них подчеркивают, что данная субстанция должна иметь возможность взаимодействовать с окружающей средой и с другими субъектами для того, чтобы решать проблемы или просто достичь своих целей по координации или сотрудничеству. Суть заключается в том, что глобальная динамика системы вытекает из поведения местной системы и взаимодействия ее составляющих частей [6]. Работа объединенной энергосистемы зависит от региональных, а тех, в свою очередь, – от конкретных своих элементов (генерирующих мощностей, подстанций, потребителей и т. д.). Поэтому очевидно, что механизмы взаимодействия имеют огромное влияние на моделирование, проектирование и разработку приложений. На рис. 2 представлена концепция взаимодействия агентов.



Рис. 2. Рассматриваемые модели взаимодействия агентов

В таких моделях можно выделить несколько аспектов. Один из них связан с тем, каким образом происходит взаимодействие между агентами. Если агенты взаимодействуют напрямую (например обмениваются сообщениями), то такая модель не учитывает абстракцию фактического канала связи; с другой стороны, между взаимодействующими агентами могут присутствовать некоторые передающие системы, которые должны быть включены в модель взаимодействия.

Первый подход указывает на модель, в основе которой лежит язык коммуникации агентов [8]. Она имеет свои недостатки: например, для того, чтобы общаться, агенты должны «знать» друг друга – это означает, что они должны быть охарактеризованы уникальным именем, обозначающим их в общей системе. Кроме того, агентам необходимо обеспечить возможность «познакомиться» друг с другом.

В другой модели взаимодействия агентов обеспечивают косвенные связи между ними. Некоторые из этих подходов предусматривают наличие сложных коммуникационных структур [12], которые реализуют механизмы взаимодействия агентов. Другие же модели косвенного взаимодействия в большей степени сосредоточены на моделировании окружающей среды агента (например ГИС или

графические редакторы схем) как средства для визуальной оценки взаимодействия агентов и, следовательно, их поведения.

Первый и самый широко распространенный вид модели взаимодействия агентов обеспечивает прямой обмен информацией между взаимодействующими агентами. Такой подход не учитывает каналы связи, но позволяет агентам взаимодействовать, не прибегая к моделированию этих каналов. Такие механизмы обеспечивают передачу сообщений от одного агента к другому, используя определенный протокол, который служит для обмена сообщениями между агентами. Имеются несколько нюансов относительно самого процесса коммуникации агентов, которые требуют тщательной проработки (начиная с формата сообщения и заканчивая смысловой нагрузкой этих сообщений и диалогов), но в целом этот подход предусматривает выбор подходящих языков программирования для того, чтобы решить все эти проблемы.

Язык коммуникации агентов (ACL) обеспечивает агентов средствами обмена информацией и знаниями. Отличительной особенностью мультиагентных систем, в основе которых лежат языки взаимодействия между агентами, является объект их обсуждения и обозначения. В частности, есть два аспекта (архитектура и распределенное вычисление), которые в равной мере не позволяют говорить об автономии взаимодействующих компонентов.

Компоненты современных систем (даже если они достаточно сложны и могут рассматриваться как самодостаточные, обладающие определенными средствами связи) имеют более низкую степень автономии, чем те, которые связаны с агентами.

Информация, передаваемая в сообщениях, как правило, не требует всесторонней онтологической проработки, в отличие от структуры и категорий, которые можно считать общими для компонентов системы.

Объединение агентов в группу рассматривается как временное явление постоянства и активности, что не является таковым для обычных компонентов программного обеспечения (ПО). Компоненты ПО имеют определенные интерфейсы, что предполагает множество общих структур данных.

Параметры схожей информации и параметры сообщений / вызовов / запросов на обслуживание (более или менее формально) приведены в языках моделирования, а также тесно связаны с компонентом, осуществляющим исполнительные действия. Для эффективного обмена знаниями агенты должны обмениваться онтологиями, которые представляют собой набор категорий объектов, их общие и частные параметры, свойства и взаимосвязь между ними. Иными словами, объект (ГЭС и т. д.) или субъект (диспетчер) должны иметь одинаковые параметры и набор свойств по всей системе, т. е. «общий ресурс данных» (рис. 3).

С чисто технической точки зрения агент связи даже в моделях с непосредственным взаимодействием агентов является косвенным. В самом деле, большинство таких подходов заключается в выборе той или иной коммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей надежный механизм передачи сообщений. Тем не менее использование концептуальной модели непосредственного взаимодействия агентов влечет за собой возникновение некоторых ограничений и сложностей. Однако существуют также модели, в которых присутствуют посредники, обеспечивающие взаимодействие агентов [12]. Такие модели взаимодействия агентов, которые обеспечивают косвенные механизмы коммуникации, классифицируются как опосредованные или пространственные модели. Различие заключается в методах воздействия и способах переноса данных, лежащих в ос-

нове этой модели, которые обеспечивают ее разработку и реализацию. Такая модель, в свою очередь, эмулирует конкретные объекты, окружающие агента и необходимые для объединения независимых агентов.

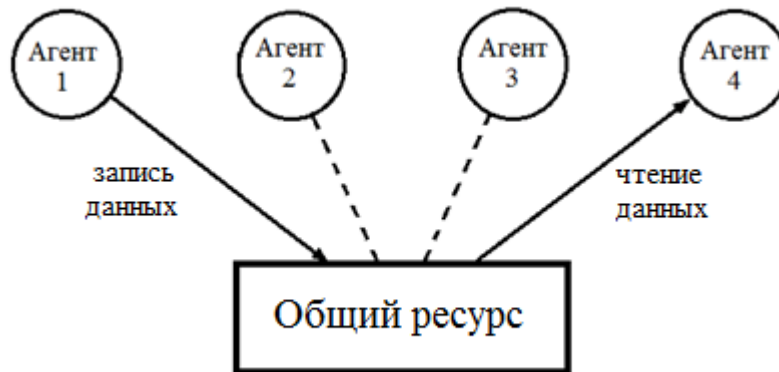


Рис. 3. Концептуальная схема, типичная для архитектуры с «общим ресурсом»

Эти взаимодействия агентов, то есть представление окружающей агента среды в виде собственной конкретной модели, подразумевают, что пространственные характеристики и соответствующая им информация являются ключевыми факторами, которыми нельзя пренебречь при анализе и моделировании системы.

Оба эти подхода обеспечивают механизмы взаимодействия, которые сильно отличаются от модели обмена сообщениями между агентами. На самом деле, механизмы взаимодействия агентов оказывают влияние на связующего агента.

Агенты взаимодействуют для совместного использования ресурсов (загрузка вычислительных мощностей при вычислениях, загрузка параметров ЛЭП при формировании режима) при наличии конкурентного доступа к ним, а также они сотрудничают для выполнения задач, которые не могут быть выполнены отдельным агентом в связи с недостатком информации и возможностей (например сложные технико-экономические расчеты). Некоторые подходы к взаимодействию агентов направлены на моделирование и реализацию некоторой абстрактной модели, позволяющей агентам сотрудничать посредством общего ресурса, доступ к которому регулируется в соответствии с четко определенными правилами [10].

Архитектура, в основе которой лежит принцип «общего ресурса данных», является одним из примеров такого рода моделей. «Общим ресурсом» является хранилище данных, которое дает возможность сотрудничать программным модулям, общаясь при этом косвенно и анонимно. База данных является наиболее подходящим примером такой архитектуры, вся информация относительно электрической схемы может быть записана и четко структурирована в одной или нескольких базах данных, доступ к которым будет иметь каждый агент, по мере надобности обращаясь за информацией. При этом агенты могут как вносить новые данные (например при добавлении новых присоединений к подстанции), так и изменять старые (например при реконструкции старой подстанции, замене оборудования и соответствующем изменении тех или иных характеристик).

Обоснованием такого подхода является сохранение связи между агентами в процессах вычисления и координации. При этом связи остаются, насколько это

возможно, разделенными путем предоставления определенной свободной абстрактной структуры для взаимодействия агентов. Что касается моделей с непосредственным механизмом взаимодействия, то процесс координации фактически перемещается от самого агента к инфраструктуре. Развитие этого подхода ведется в основном по двум направлениям: расширение языка координации и инфраструктуры с целью повышения ее удобства в использовании и моделировании и реализация общего пространства.

Описанные подходы предназначены для моделирования структуры, посредством которой осуществляется косвенное взаимодействие агентов; другие подходы могут быть направлены на моделирование окружающей среды агентов, принимая во внимание ее пространственные характеристики (рис. 4) [4, 5, 7, 11]. В таких подходах агенты находятся в окружающей среде, пространственные характеристики которой представлены в явном виде и оказывают влияние на их восприятие, взаимодействие и, таким образом, на их поведение.

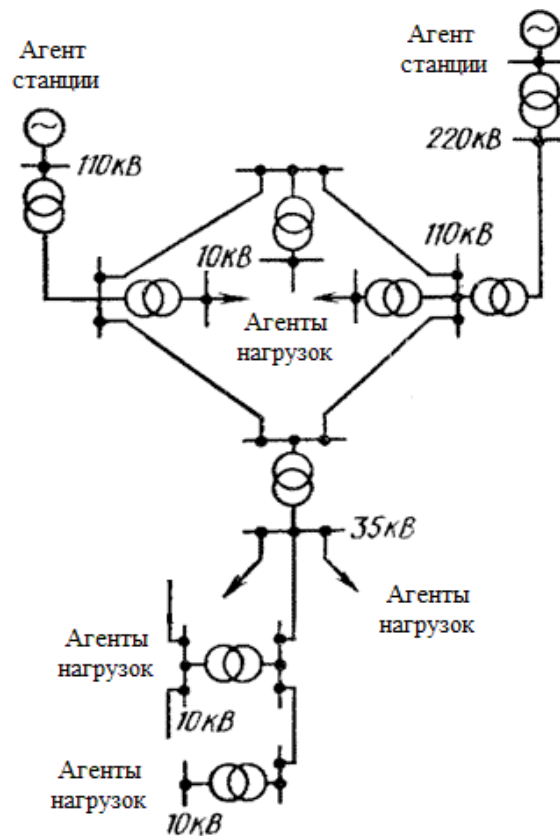


Рис. 4. Пример схемы, иллюстрирующей опосредованное взаимодействие агентов через окружающую среду, в которых пространственная структура окружающей среды играет главную роль в определении восприятия агентов и их возможностей для взаимодействия

Моделирование электрических сетей высокого напряжения возможно осуществить только таким образом, поскольку структура сети представляет собой либо замкнутую, либо сложнзамкнутую цепь с несколькими контурами. Расчет такой сети с помощью отдельных элементов не представляется возможным в виду того, что каждый элемент в большей или меньшей степени влияет на режим

во всей сети. Поэтому моделирование всей сети представляет собой моделирование окружающей среды, в которой располагаются агенты станций и агенты нагрузок, взаимодействие которых происходит через нее. Понятие восприятия, которое на самом деле абстрактно в моделях с непосредственным взаимодействием агентов (агенты воспринимают их состояние, которое включает в себя полученные сообщения, представляемые как новые факты в их базе знаний), непосредственно связано с моделированием так называемой «местной точки зрения».

На самом деле эти подходы направлены на реализацию инфраструктуры для коммуникации агентов, которая позволяет им воспринимать состояние окружающей среды с их позиции (и, возможно, с позиции близлежащих агентов) [9]. Агенты также могут вызывать локальные изменения состояний системы или же просто наблюдать за действиями других агентов. Во всех этих случаях структурирование функции окружающей среды является ключевым аспектом, поскольку оно фактически определяет то, что может быть воспринято агентом в текущем его положении, как он может влиять на окружающую среду, в какой степени его действия могут быть восприняты другими агентами и таким образом взаимодействовать с ними.

Выводы:

- реальные объекты энергетики, моделируемые агентами, выбираются в зависимости от уровня рассматриваемой системы;
- разноуровневые системы в отечественной энергетике актуально представлять неоднородным составом реактивных и совещательных агентов;
- исходя из текущего уровня оснащения предприятий сферы электроэнергетики средствами ИТ и каналами связи наиболее эффективным является построение МАС с косвенным взаимодействием агентов через пространственную модель окружающей среды (системы).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тарасов В.Б.* Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // *Новости искусственного интеллекта*. – 1998. – № 2. – С. 5-15.
2. *Кубарьков Ю.П.* Взаимодействие элементов мультиагентных систем электроэнергетических комплексов / Ю.П. Кубарьков, А.Ю. Рыгалов, Я.В. Макаров // *Труды Кольского научного центра РАН, Энергетика*, 2013. – С. 59-64.
3. *Bandini S., Petta P., Vizzari G., eds.* International Symposium on Agent Based Modeling and Simulation (ABModSim 2006). Volume Cybernetics and Systems 2006, Austrian Society for Cybernetic Studies (2006) 18th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2006).
4. *Bandini S., Federici M.L., Vizzari G.* Situated Cellular Agents Approach to Crowd Modeling and Simulation. *Cybernetics and Systems* 38 (2007). – 729-753.
5. *Bandini S., Petta P., Vizzari G., eds.* Second International Symposium on Agent Based Modeling and Simulation (ABModSim 2008). Volume Cybernetics and Systems 2008, Austrian Society for Cybernetic Studies (2008) 19th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2008).
6. *Hassas S., Serugendo G.D.M., Phan D., eds.* Multi-Agents for modelling Complex Systems (MA4CS). (2007).
7. *Luck M., McBurney P., Sheory O., Willmott S., eds.* Agent Technology: Computing as Interaction. University of Southampton (2005).
8. *North M.J., Collier N.T., Vos J.R.* Experiences Creating Three Implementations of the Repast Agent Modeling Toolkit. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation* 16 (2006). – 1-25.
9. *Weyns D., Boucké N., Holvoet T.* Gradient Field-Based Task Assignment in an AGV Transportation System. In: *AAMAS '06: Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous*

- agents and multiagent systems, ACM Press (2006). – 842-849.
10. Weyns D., Holvoet T. From Reactive Robots to Situated Multi-Agent Systems: a Historical Perspective on the Role of Environment in Multi-Agent Systems. In Dikenelli, O., Gleizes, M.P., Ricci, A., eds.: Engineering Societies in the Agents World VI, 6th International Workshop, ESAW 2005. Volume 3963 of Lecture Notes in Computer Science., Springer-Verlag (2006). – 63-88.
 11. Weyns D., Breuckner S., Demazeau Y., eds. Engineering Environment-Mediated Multiagent Systems (EEMMAS). (2007).
 12. Weyns D., Omicini A., Odell J. Environment as a First Class Abstraction in Multiagent Systems. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 14 (2007). – 5-30.

Статья поступила в редакцию 2 сентября 2013 г.

SPECIFIC NATURE OF COOPERATION BETWEEN AGENTS IN TERMS OF THE MULTIAGENT SYSTEM ARCHITECTURE DEVELOPMENT

A.Y. Rygalov, Y.P. Kubarkov, Ya.V. Makarov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

This paper describes the main types of agent architectures which can be used in energy sector. The paper deals with the possibility of using such architectures to model the agents of electrical power system. Multiagent system architectures which consist of these agents are described, as well as ways to organize cooperation between agents in such systems. Classification of agent cooperation models and their detailed description are given, their advantages and disadvantages are pointed out as well as the possibility of using them in energy sector. The conclusion is drawn about the applicability of the architecture based on the indirect model of cooperation between agents and general model of energy system which determines both potential understanding of agents and the possibility of their potential interaction.

Keywords: Agent, multi-agent system, energy, interaction mechanisms.

*Aleksey Y. Rygalov, Assistant.
Yriy P. Kubarkov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Yaroslav V. Makarov, Assistant.*