

21. *Zemlyanukhin P.A.* *Mnogokanal'nyy adaptivnyy generator shuma dlya maskirovaniya PEMIN* [Multichannel noise generator to mask SERaI], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2016, No. 9, pp. 82-93.
22. *Bekhtin M.A.* *Sistema obnaruzheniya pobochnykh informatsionnykh elektromagnitnykh izlucheniye tekhnicheskikh sredstv: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* [System for detecting side information electromagnetic radiation of technical means: autoabstract cand. of eng. sc. diss.]. Moscow, 2009, 23 p.
23. *Vertilevskiy N.V.* *Razrabotka kontseptsii modul'nogo postroeniya transformiruemyy sistemy zashchity informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* [Development of the concept of modular construction of a transformable information protection system against leakage through technical channels: autoabstract cand. of eng. sc. diss.]. Vladimir, 2008, 24 p.
24. *Zemlyanuchin P., Suhoveev A.* Adaptive noise generator for masking side electromagnetic radiation and interference. Second International Conference on Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies (FTCNT-2019). Jaypee University of Information Technology, Wanknaghat, India and C-DAC, Mohali, India. 22-23 November 2019. Available at: <https://www.springer.com/us/book/9789811544507>.
25. *Kupriyanov A.I.* *Radioelektronnaya bor'ba* [Radio-electronic struggle]. Moscow: Vuzovskaya kniga, 2013, 360 p.
26. *Zemlyanukhin P.A., Ochirov Ts.V.* *Formirovatel' shumovogo signala* [A noise signal conditioner]. Patent for utility model RU No. 193698 Russian Federation, IPC 29/00 H03B, H04K 3/00; declared 30.04.2019; publ. 11.11.2019, BI No. 32.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.Г. Капустян.

**Землянухин Петр Андреевич** – Южный федеральный университет, e-mail: [razemlyanuchin@sfedu.ru](mailto:razemlyanuchin@sfedu.ru); 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 89185061318; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; к.т.н.; доцент.

**Кондратьев Александр Владиславович** – e-mail: [alkondratev@sfedu.ru](mailto:alkondratev@sfedu.ru); тел.: 89888979234; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; студент.

**Свидельский Сергей Сергеевич** – e-mail: [svidelskiy@sfedu.ru](mailto:svidelskiy@sfedu.ru); тел.: 89281410341; кафедра высшей математики; аспирант.

**Zemlyanukhin Petr Andreevich** – Southern Federal University; e-mail: [pazemlyanuchin@sfedu.ru](mailto:pazemlyanuchin@sfedu.ru); 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79185061318. the department of information security of telecommunication systems; associate professor, cand. of eng. sc.

**Kondratiev Alexandr Vladislavovich** – e-mail: [alkondratev@sfedu.ru](mailto:alkondratev@sfedu.ru); phone: +79888979234; the department of information security of telecommunication systems; student.

**Svidelsky Sergey Sergeevich** – e-mail: [svidelskiy@sfedu.ru](mailto:svidelskiy@sfedu.ru); phone: +79281410341; the department of higher mathematics; postgraduate student.

УДК 004.4'42

DOI 10.18522/2311-3103-2020-5-123-130

**М.Ю. Поленов, А.О. Курмалеев**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНЖИНИРИНГА ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ТРАНСЛЯЦИИ МОДЕЛЕЙ\***

*Рассмотрена проблема повторного использования ранее разработанных программных моделей сложных систем и их компонентов, возникающая перед исследователями при необходимости перехода к новым средствам моделирования. В качестве решения поставленной задачи была разработана программная среда – Мультитранслятор, которая позво-*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00936.

лила реализовать многоязыковую трансляцию исходных кодов моделей в требуемый формат целевой среды моделирования при помощи создаваемых трансляционных модулей. Далее на основе Мультитранслятора было разработано клиент-серверное приложение – Распределенная библиотека моделей, которая наряду с функцией трансляции моделей выполняла функцию их сетевого хранения и доступа, обеспечивая распределенную реализацию подхода. Развитие подхода и Распределенной библиотеки моделей выполнялось в направлении автоматизации трансляции и разрешения исключительных случаев, возникающих при трансляции моделей, вызванных недостаточностью входных данных или неопределенностью решений по конвертации моделей, возникающей при наличии слишком большого числа исходов при разборе. Для решения данной задачи было предложено использовать экспертную систему с базой знаний. В качестве основного процесса синтеза необходимых знаний для базы знаний в работе рассмотрен инжиниринг знаний. Предложены следующие источники получения знаний в ходе разработки экспертной системы: трансляционный модуль Мультитранслятора; техническая документация входного/выходного языков описания моделей для трансляции; расширенные и дополнительные публикации по описанию данных языков; эксперты по языкам описания моделей для трансляции. Далее рассмотрены основные этапы инжиниринга знаний: определение стратегии приобретения знаний; идентификация элементов знаний; создание системы классификации знаний; разработка подробной функциональной компоновки; предварительное планирование процессов передачи управления; определение требований к системе. Полученные результаты позволят расширить функциональные возможности распределенной библиотеки моделей при трансляции моделей при помощи экспертной системы и эффективной обработки неопределенностей, возникающих в процессе трансляции.

*Трансляция моделей; трансляционный модуль; экспертная система; инжиниринг знаний; источники знаний.*

**M.Yu. Polenov, A.O. Kurmaleev**

#### **KNOWLEDGE ENGINEERING USE FOR THE INTELLECTUAL SUPPORT OF MODELS' TRANSLATION**

*In the work the problem of reuse of earlier developed software models in complex systems and their components, arising before researchers in case of necessity of transition to new modeling tools, is considered. As a solution to this problem, a Multitranslator software environment was developed, which made it possible to implement multilanguage translation of models' source codes into the required format of the target modeling environment using the created translation modules. Then, based on the Multitranslator, a client-server application was developed – a Distributed models library, which, along with the models translation function, performed the function of their network storage and access, providing a distributed implementation of the approach. The development of the approach and the Distributed models library was carried out in the direction of translation automation and resolving exceptional cases that occur during model translation caused by insufficient input data or uncertainty in model conversion decisions that occur when there are too many outcomes during parsing. To solve this problem, it was proposed to use an expert system with a knowledge base. Knowledge engineering is considered as the main process of synthesis of necessary knowledge for the knowledge base. The following sources of knowledge acquisition during the development of the expert system are proposed: the translation module of Multitranslator; technical documentation of input/output languages for describing models for translation; extended and additional publications on describing these languages; experts on languages for describing models for translation. The main stages of knowledge engineering are considered next: defining a knowledge acquisition strategy; identifying knowledge elements; creating a knowledge classification system; developing a detailed functional layout; pre-planning of control transfer processes; and defining system requirements. The results obtained will allow expanding the functionality of the Distributed models library when translating models using an expert system and efficient processing of uncertainties that arise during translation.*

*Models' translation; translation module; expert system; knowledge engineering; knowledge sources.*

**Введение.** В области моделирования сложных систем наблюдается постоянное совершенствование используемых инструментальных программных средств моделирования, а также разработка новых средств для различных доменов [1]. Многообразие существующих пакетов моделирования, их развитие и появление новых средств приводит к задаче конвертации (трансляции) существующих моделей для их дальнейшего использования исследователями в новых средствах в силу необходимости сохранения и повторного использования ранее разработанных и отлаженных моделей сложных систем и их компонент. Однако, данный процесс приводит к значительным дополнительным временным затратам для каждой такой конвертации, как на изучение нового средства моделирования, языка и формата представления моделей, так и для собственно трансляции существующих моделей в требуемый формат.

Для решения данной проблемы была поставлена задача разработки средств для конвертации моделей между исходной и целевой средами моделирования. В результате решения этой задачи была разработана программная среда многоязыковой трансляции, названная Мультитранслятором (МТ) [2]. Основой процесса конвертации моделей является трансляционный модуль (ТМ) Мультитранслятора, представляющий собой набор правил описания грамматик исходного языка моделирования на языке описания грамматик и генерации выходного кода моделей действий преобразования на языке описания действий. Мультитранслятор реализован как среда разработки трансляционных модулей, а также как среда конвертации моделей, использующая уже разработанные трансляционные модули. Очевидно, что для большинства исследователей в основном востребована функция конвертации моделей, поскольку при разработке ТМ необходимы как знания самой среды, входного и выходного языков описания моделей, так и языков описания трансляционного модуля Мультитранслятора [3, 4]. В процессе работы и использования МТ также было решено создать версию Мультитранслятора в виде клиент-серверного приложения на основе архитектуры распределенных систем [5], где сам МТ находился бы на стороне сервера и проводил бы трансляцию моделей для удаленных исследователей-клиентов, выполняя тем самым распределенную реализацию подхода к повторному использованию моделей [6]. Также было решено дополнительно реализовать в данном клиент-серверном приложении функцию распределенного хранилища (репозитория) моделей, что значительно упростило совместный доступ исследователей к исходным и оттранслированным моделям.

На основе использования перечисленных подходов и объединения функций трансляции и хранения исходных и конвертированных моделей была создана Распределенная библиотека моделей [7]. В данной библиотеке на стороне исследователя-клиента используется упрощенный пользовательский интерфейс по подключению к серверу, выбору трансляционного модуля для конвертации, выбору исходных моделей из локального или серверного хранилища, и по завершению процедуры трансляции, доступу к коду конвертированной модели на выходном языке для целевой среды моделирования.

Развитие подхода и Распределенной библиотеки моделей выполнялось в направлении автоматизации трансляции и разрешения исключительных случаев, возникающих при трансляции моделей, вызванных недостаточностью входных данных или неопределенностью решений по конвертации моделей, возникающей при наличии слишком большого числа исходов при разборе.

Для решения данной задачи было предложено использовать экспертную систему (ЭС) [8]. Основным элементом при построении экспертной системы [9] является база знаний [10], наполнение которой является многоэтапным процессом, сопряженным с разработкой самой ЭС [11, 12]. Основой базы являются знания, ко-

торые будут формировать правила в виде обработчиков-объектов или простых правил-фактов для начальных версий экспертной системы. Основным процессом синтеза необходимых знаний для базы знаний является инжиниринг знаний, который и рассматривается в данной работе.

**Знания для инжиниринга.** Рассмотрим основные этапы сбора знаний для реализации предлагаемого подхода.

Прежде всего необходимо вынести требования к получаемым знаниям [13] по многоязыковой трансляции для экспертной системы, в этот этап входит определение источника знаний, оценка важности источников, оценка их доступности и, как итог, выбор источников для их использования в ходе разработки.

В ходе разработки и создания средств многоязыковой трансляции в качестве основы конвертации исходных кодов моделей использовались трансляционные модули Мультитранслятора. Трансляционный модуль агрегирует все знания, которые использует МТ в ходе процесса трансляции моделей, и декомпозировав его, можно заложить фундамент базы знаний. Этот источник является наиболее достоверным и доступным, поскольку он неоднократно проверялся при разработке различных трансляционных модулей. У этого источника знаний можно установить самый высокий приоритет и использовать в качестве основы предлагаемого подхода.

На следующем этапе должна быть рассмотрена официальная техническая документация исходного языка описания моделей и выходного языка, на котором генерируется результат трансляции, поскольку такой источник является столь же достоверным, как и трансляционный модуль МТ последней версии. По важности этот источник следует за трансляционным модулем и не уступает ему по доступности и достоверности.

После официальной технической документации необходимо рассмотреть основные публикации по расширенному описанию этой документации с практическими примерами, которые менее важны и достоверны по сравнению с технической документацией, в случае с последними редакциями книг, и средне доступны в связи с необходимостью их поиска в электронных библиотеках или покупки электронных или печатных версий, в случае недоступности электронных версий последних редакций.

И завершающим этапом идет получение знаний от экспертов. Этот источник является менее важным, чем предыдущие, но после завершения предыдущих этапов может оказаться наиболее значительным для случаев, когда техническая документация совместно с книгами по описанию языков, необходимых для трансляционного модуля, окажутся недостаточными для разрешения всех найденных исключительных случаев трансляции. Здесь необходимо отметить, что знания трансляционного модуля являются базовыми и они недостаточны для разрешения исключительных случаев трансляции моделей. Этот источник является наименее доступным и потребует приглашения специалистов со стороны и применения подхода менеджмента знаний по отношению к сбору информации от экспертов для большей достоверности информации.

Таким образом, можно перечислить этапы и источники получения знаний в ходе разработки экспертной системы:

- 1) трансляционный модуль МТ;
- 2) техническая документация входного/выходного языков трансляции;
- 3) расширенные и дополнительные публикации по описанию языков;
- 4) эксперты по языкам описания моделей для трансляции.

В итоге, резюмируя приведенную информацию, можно отобразить ее в виде структуры, отображающей взаимодействие между компонентами Распределенной библиотеки моделей и экспертной системой, используемой в процессе трансляции моделей, представленной на рис. 1.

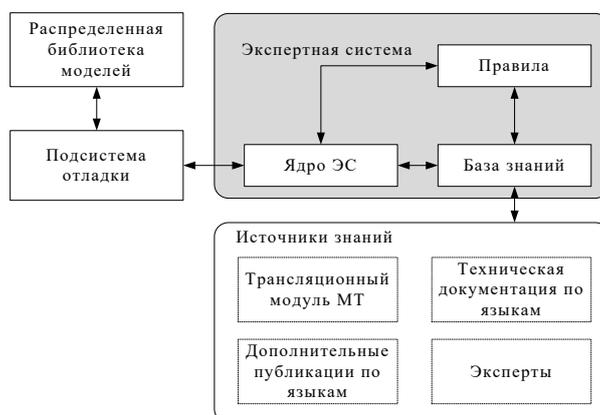


Рис. 1. Структура системы трансляции и организации наполнения базы знаний экспертной системы

### Использование инжиниринга знаний для многоязыковой трансляции.

В начале описания предлагаемого подхода необходимо уточнить, что представляет собой инжиниринг знаний. В качестве определения можно рассматривать следующее: инжиниринг знаний – это процесс разработки систем, основанных на знаниях любой отрасли [14]. Он в общем виде состоит из определения и выбора источника знаний с последующим их приобретением, анализом и извлечением [15]. Вопросы определения и выбора источников были рассмотрены в предыдущем разделе.

С учетом специфики решения поставленной задачи, приобретение знаний состоит из следующих базовых этапов [16]:

- ◆ определение стратегии приобретения знаний;
- ◆ идентификация элементов знаний;
- ◆ создание системы классификации знаний;
- ◆ разработка подробной функциональной компоновки;
- ◆ предварительное планирование процессов передачи управления;
- ◆ определение требований к системе.

Рассмотрим подробнее суть предлагаемого подхода и реализацию данных этапов с учетом специфики поставленной задачи автоматизации трансляции моделей при использовании экспертной системы.

#### Определение стратегии приобретения знаний и идентификация элементов знаний

Поскольку в случае нашей задачи, основывающейся на формализованных языках [17, 18], все достоверные источники знаний известны заранее, то этап идентификации уже был пройден до момента определения стратегии получения знаний. Следовательно, на данном этапе выполняется описание процедур получения знаний и используемых методов для каждого из источников:

1. Источник – трансляционный модуль Мультитранслятора. Выполняется анализ и индукция правил трансляции, заложенных в трансляционном модуле в знания общего вида для последующего синтеза базовых правил экспертной системы.

2. Источник – техническая документация входного/выходного языков описания моделей для трансляции. Выполняется анализ и дедукция языков, начиная с их возможностей (таких как реализация подходов к разработке в рамках языковых структур, например, таких как объекты и функции) для подтверждения и синтеза новых правил и расширения существующих (например, добавления новых языковых конструкций, не приведенных в определенном контексте в документации), на основе уже полученных из предыдущего источника.

3. Источник – расширенные и дополнительные публикации по языковой документации. Выполняется более глубокий анализ структур языка и существующих правил, сгенерированных ранее, для превентивного синтеза правил, включающих в себя обработку возможных исключительных ситуаций нарушения процесса трансляции моделей.

4. Источник – эксперты по языкам описания моделей для трансляции. После запуска финального тестирования выполняется анализ результатов и на основе полученных исключительных случаев принимается решение о привлечении экспертов. Для каждого возникшего исключительного случая необходимо проводить структурированное интервью с составлением карты знания [19] для исключительного случая трансляции, где эксперту будет предоставлен полный исходный код модели или его фрагмент, не прошедший трансляцию.

#### *Создание системы классификации знаний*

Перед дополнением правилами базы знаний экспертной системы все полученные знания должны быть классифицированы и упорядочены с помощью иерархических групп [20]. При выполнении каждого этапа, описанного в предыдущем разделе, знания сразу же записываются в техническую документацию проекта экспертной системы и базы знаний, и лишь после этого происходит переход к этапу наполнения базы знаний необходимыми правилами.

#### *Разработка подробной функциональной компоновки*

На основе созданных классификаций составляется программная документация и происходит реализация базовой структуры ЭС и правил согласно принятым стандартам по проекту и соответствующей задаче технической реализации.

#### *Предварительное планирование процессов передачи управления*

Процессы передачи управления представляют собой функциональную архитектуру базы знаний, алгоритмы активизации групп правил. Данный этап является связывающей основой для базы знаний, управленческой структурой ЭС.

#### *Определение требований к системе*

После создания базы знаний и экспертной системы на каждом из четырех описанных выше этапов, в нашем случае будет составлена карта покрытия исключительных случаев. На основе этой карты описываются соответствующие правила и подбираются исходные коды моделей с различными вариациями таких исключительных случаев.

**Заключение.** В результате проведенных исследований был предложен и реализован подход к интеллектуальной поддержке трансляции моделей с целью обеспечения возможности их повторного использования. Подход основан на применении разработанной распределенной библиотеки моделей в качестве хранилища и средства трансляции внешних моделей для различных сред моделирования. Конвертация моделей реализована на основе использования модулей перевода моделей разработанной ранее среды трансляции – Мультитранслятора с поддержкой экспертной системы. Формирование необходимых знаний для базы знаний экспертной системы производится на основе инжиниринга знаний, рассмотренного в данной работе.

Полученные результаты позволяют расширить функциональные возможности распределенной библиотеки моделей при трансляции внешних моделей за счет использования экспертной системы и эффективной обработки неопределенностей, возникающих в процессе трансляции, что в итоге приведет к сокращению временных затрат на конвертацию внешних моделей при моделировании сложных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 186 с.
2. Чернухин Ю.В., Гузик В.Ф., Поленов М.Ю. Подход к формированию внешних библиотек сред виртуального моделирования на базе мультиязыковой трансляции // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 10. – С. 2-12.
3. Чернухин Ю.В., Гузик В.Ф., Поленов М.Ю. Многоязыковая трансляция средств виртуального моделирования. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 368 с.
4. Chernukhin Yu., Guzik V., Polenov M. Multilanguage Translation Usage in Toolkit of Modeling Systems // WIT Transactions on Information and Communication Technologies. – 2014. – Vol. 58. – P. 397-404.
5. Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G. Distributed systems. Concepts and Design. Fifth Ed. – Addison-Wesley, 2012. – 1048 p.
6. Robinson S., Nance R.E., Paul R.J., et al. Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacle // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2004. – Vol. 12. – P. 479-494.
7. Polenov M., Guzik V., Gushanskiy S., Kurmaleev A. Development of the Translation Tools for Distributed Storage of Models // Proceedings of 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT 2015). – IEEE Press, 2015. – P. 30-34.
8. Polenov M., Gushanskiy S., Kurmaleev A. Synthesis of Expert System for Distributed Storage of Models // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – Vol. 575. – P. 220-228.
9. Waterman D.A. A Guide to Expert Systems. – Addison-Wesley, 1986.
10. Frost R. Introduction to Knowledge Base Systems. – Macmillan Pub. Co., 1986. – 677 p.
11. Buchanan B.G., Duda R.D. Principles of rule-based expert system // Advances in Computers. – 1983. – Vol.22. – P.163-216.
12. Джексон П. Введение в экспертные системы. – 3-е изд. – Вильямс, 2001. – 624 с.
13. Durkin J. Expert Systems: Design and Development. – Macmillan Coll Div, 1994. – 800 p.
14. Kendal S., Creen M. An introduction to knowledge engineering. – Springer, 2007. – 300 p.
15. Gonzalez A.J., Dankel D.D. The Engineering of Knowledge-based Systems: Theory and Practice. – Prentice-Hall, 2000. – 523 p.
16. Giarratano J.C., Riley G.D. Expert Systems: Principles and Programming. 4th ed. – Course Technology, 2004. – 856 p.
17. Rozenberg G., Salomaa A. Handbook of Formal Languages. Vol. 1. – Springer, 1997. – 328 p.
18. Scott M.L. Programming Language Pragmatics. 4th ed. – Morgan Kaufmann, 2015. – 992 p.
19. Boose J.H. A survey of knowledge acquisition techniques and tools // Knowledge Acquisition. – 1989. – Vol.1. – P. 3-37.
20. McGraw K.L., Harbison-Briggs K. Knowledge Acquisition: Principles and Guidelines. – Prentice Hall, 1989. – 250 p.

REFERENCES

1. Kolesov Yu.B., Senichenkov Yu.B. Modelirovaniye sistem. Ob'yektno-orientirovanny podkhod [System modeling. Object oriented approach]. Saint Petersburg: BHV-Petersburg, 2017, 186 p.
2. Chernukhin Yu., Guzik V., Polenov M. Podkhod k formirovaniyu vneshnikh bibliotek sred virtual'nogo modelirovaniya na baze mul'tiyazykovoy translyatsii [An approach to the development of external libraries of virtual modeling environments based on multilanguage translation], *Vestnik komp'iuternykh i informatsionnykh tekhnologii* [Herald of computer and information technologies], 2008, No. 10, pp. 2-12.
3. Chernukhin Yu., Guzik V., Polenov M. Mnogoyazykovaya translyatsiya sredstv virtual'nogo modelirovaniya [Multilanguage Translation for Virtual Modeling Environments]. Rostov-on-Don: Publishing house of Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, 2009, 368 p.
4. Chernukhin Yu., Guzik V., Polenov M. Multilanguage Translation Usage in Toolkit of Modeling Systems, *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 2014, Vol. 58, pp. 397-404.
5. Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G. Distributed systems. Concepts and Design, Fifth Ed., Addison-Wesley, 2012, 1048 p.

6. Robinson S., Nance R.E., Paul R.J., et al. Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacle, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2004, Vol. 12, pp. 479-494.
7. Polenov M., Guzik V., Gushanskiy S., Kurmaleev A. Development of the Translation Tools for Distributed Storage of Models, *Proc. of 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT 2015)*, IEEE Press, 2015, pp. 30-34.
8. Polenov M., Gushanskiy S., Kurmaleev A. Synthesis of Expert System for Distributed Storage of Models, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, 2017, Vol. 575, pp. 220-228.
9. Waterman D.A. A Guide to Expert Systems. Addison-Wesley, 1986.
10. Frost R. Introduction to Knowledge Base Systems. Macmillan Pub. Co., 1986, 677 p.
11. Buchanan B.G., Duda R.D. Principles of rule-based expert system. *Advances in Computers*, 1983, Vol. 22, pp.163-216.
12. Dzhekson P. Vvedenie v ekspertnye sistemy [Introduction to Expert Systems]. 3rd ed. Vil'yams, 2001, 624 p.
13. Durkin J. Expert Systems: Design and Development. Macmillan Coll Div, 1994, 800 p.
14. Kendal S., Green M. An introduction to knowledge engineering. Springer, 2007, 300 p.
15. Gonzalez A.J., Dankel D.D. The Engineering of Knowledge-based Systems: Theory and Practice. Prentice-Hall, 2000, 523 p.
16. Giarratano J.C., Riley G.D. Expert Systems: Principles and Programming. 4th ed. Course Technology, 2004, 856 p.
17. Rozenberg G., Salomaa A. Handbook of Formal Languages. Vol. 1. Springer, 1997, 328 p.
18. Scott M.L. Programming Language Pragmatics. 4th ed. Morgan Kaufmann, 2015, 992 p.
19. Boose J.H. A survey of knowledge acquisition techniques and tools. *Knowledge Acquisition*, 1989, Vol.1, pp. 3-37.
20. McGraw K.L., Harbison-Briggs K. Knowledge Acquisition: Principles and Guidelines. Prentice Hall, 1989, 250 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Божич.

**Поленов Максим Юрьевич** – Южный федеральный университет, e-mail: mypolenov@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371550; кафедра вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

**Курмалеев Артём Олегович** – e-mail: kurmaleev@sfedu.ru; тел.: 88634371656; кафедра вычислительной техники; соискатель.

**Polenov Maxim Yuryevich** – Southern Federal University; e-mail: mypolenov@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371550; the department of computer engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Kurmaleev Artem Olegovich** – e-mail: kurmaleev@sfedu.ru; phone: +78634371656; the department of computer engineering; researcher.

УДК 551.594

DOI 10.18522/2311-3103-2020-5-130-141

**С.С. Свидельский, В.С. Литвинова, Г.В. Куповых, А.Г. Клово**  
**ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО СЛОЯ**

*Рассматривается проблема формирования электрического состояния нижнего слоя атмосферы вблизи поверхности земли. Исследуется электродинамическая модель нестационарного турбулентно-конвективного приземного слоя в приближении электродного эффекта (ЭЭ). Исходная система состоит уравнений, описывающих ионизационные и рекомбинационные процессы для аэроионов, и уравнения Пуассона для электрического поля. В зависимости от метеорологических условий в атмосфере отдельно рассмотрены модели электродного слоя (ЭС) в приближениях классического и турбулентного ЭЭ, а также в приближении сильного турбулентного перемешивания. В качестве факторов, влияющих на*