

ВЕСТНИК НОВОСИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный журнал
Основан в ноябре 1999 года

Серия: Информационные технологии

2023. Том 21, № 4

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Гирн А. В., Калашиников А. С., Пикалов Я. Ю.</i> Моделирование и программирование процесса спиральной намотки с использованием робота-манипулятора.....	5
<i>Демидов Д. В.</i> Представление синтаксических структур с сочинительными конструкциями и омонимией.....	17
<i>Энес А. З., Хажметов М. В., Бжыхатлов К. Ч., Канкулов С. А.</i> Разработка модуля предобработки изображений методом поиска в ширину для системы распознавания образов на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры	46
<i>Разумовский А.В., Сарамуд М. В., Пикалов Я. Ю.</i> Алгоритмы управления матричным складом на базе унифицированных транспортно-складских ячеек.....	54
<i>Пичугин В. Н., Солдатов А. А., Тюрюшова Е. Р.</i> Создание программного инструмента с элементами искусственной нейронной сети для прогнозирования данных.....	71
Информация для авторов	79

V E S T N I K

NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY

Scientific Journal
Since 1999, November
In Russian

Series: Information Technologies

2023. Volume 21, № 4

CONTENTS

<i>Girn A. V., Kalashnikov A. S., Pikalov Y. Yu.</i> Modeling and Programming of a Spiral Winding Cycle Using a Robotic Arm.....	5
<i>Demidov D. V.</i> Representation of Syntactic Structures with Coordinating Conjunctions and Homonymy.....	17
<i>Enes A. Z., Khazhmetov M. V., Bzhikhatlov K. C., Kankulov S. A.</i> Development of an Image Reprocessing by Bidth-search Method for a Pattern Recognition System Based on Multi-agent Neurocognitive Architecture	46
<i>Razumovsky A. V., Saramud M. V., Pikalov Y. Y.</i> The Algorithms for Managing a Matrix-based Warehouse Utilizing Standardized Transport and Storage Cells	54
<i>Pichugin V. N., Soldatov A. A., Tyuryushova E. R.</i> Creation of a Software Tool with Elements of an Artificial Neural Network for data Forecasting.....	71
Instructions for Contributors.....	79

Editor in Chief M. M. Lavrentiev

Vice-Editor A. V. Avdeev

Executive Secretary D. P. Iksanova

Editorial Board of the Series

- I. V. Bychkov*, professor, academician (Irkutsk), *B. M. Glinsky*, professor (Novosibirsk)
A. N. Gorban, professor (Lester, GB), *E. P. Gordov*, professor (Tomsk)
B. S. Dobronets, professor (Krasnoyarsk), *A. M. Elizarov*, professor (Kazan)
G. N. Erokhin, professor (Kaliningrad), *A. I. Kamyshnikov*, professor (Khanty-Mansijsk)
G. P. Karev, professor (Maryland, USA), *N. A. Kolchanov*, professor, academician (Novosibirsk)
M. M. Lavrentjev, professor (Novosibirsk), *V. E. Malyshkin*, professor (Novosibirsk)
N. N. Mirenkov, professor (Aizu, Japan), *N. M. Oskorbin*, professor (Barnaul)
D. E. Palchunov, professor (Novosibirsk), *T. Pizansky*, professor (Ljubljana, Slovenia)
V. P. Potapov, professor (Kemerovo), *O. I. Potaturkin*, professor (Novosibirsk)
V. A. Serebryakov, professor (Moscow), *A. V. Starchenko*, professor (Tomsk)
S. I. Smagin, professor, corresponding member of RAS (Khabarovsk)
D. A. Tusupov, professor (Astana, Kazakhstan)
V. V. Shajdurov, professor, corresponding member of RAS (Krasnoyarsk)
Yu. I. Shokin, professor, academician (Novosibirsk)

*The journal is published quarterly in Russian since 1999
by Novosibirsk State University Press*

*The address for correspondence
Faculty of Information Technologies, Novosibirsk State University
1 Pirogov Street, Novosibirsk, 630090, Russia
Tel. +7 (383) 363 42 46*

E-mail address: inftech@vestnik.nsu.ru

On-line version: <http://elibrary.ru>

Научная статья

УДК 67.02

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-5-16

Моделирование и программирование процесса спиральной намотки с использованием робота-манипулятора

Алексей Васильевич Гирн¹
Алексей Сергеевич Калашников²
Яков Юрьевич Пикалов³

Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева
Красноярск, Россия

¹girn@sibsau.ru
²fangy.ko@gmail.com
³yapibest@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена решению актуальной задачи изготовления изделий из углепластиковых композиционных материалов, которые получают в результате послойной выкладки углеродного волокна с пропиткой их связующим компонентом. В работе описаны процесс спиральной намотки изделий на цилиндрической оправке и соответствующая математическая модель, которая учитывает коэффициент трения и необходимые зоны реверса, в которых не происходит соскальзывания ленты. Модель реализована в виде программы на языке Python и способна моделировать и визуализировать пошаговую намотку углеродной ленты на цилиндрическую поверхность. Есть возможность оптимизации коэффициента трения для обеспечения максимально плотной намотки последующих проходов. В программе учтены зоны реверса, которые вычисляются с учетом коэффициента трения цилиндрической оправки. По смоделированному процессу намотки генерируется управляющая программа для робота-манипулятора. Работоспособность предложенной модели и ее реализации были апробированы на тестовом стенде с роботом.

Ключевые слова

намотка углеродного волокна, намотка цилиндрических деталей, моделирование процесса намотки, роботизированная намотка, композитные материалы

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госконтракт № FEFE-2020-0017).

Для цитирования

Гирн А. В., Калашников А. С., Пикалов Я. Ю. Моделирование и программирование процесса спиральной намотки с использованием робота-манипулятора // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 4. С. 5–16. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-5-16

© Гирн А. В., Калашников А. С., Пикалов Я. Ю., 2023

Modeling and Programming of a Spiral Winding Cycle Using a Robotic Arm

Alexey V. Girn¹, Alexey S. Kalashnikov²,
Yakov Yu. Pikalov³

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Reshetnev University
Krasnoyarsk, Russian Federation

¹girn@sibsau.ru

²fangy.ko@gmail.com

³yapibest@mail.ru

Abstract

This article is devoted to solving the problem of manufacturing products from carbon fiber composite materials, which are obtained as a result of layer-by-layer laying of carbon fiber with impregnation of their binder components. This paper presents a description of the process of spiral winding of products on a cylindrical mandrel and the mathematical model, which takes into account the coefficient of friction and the necessary reverse zones in which the tape will not slip. The model is implemented as a Python program and is capable of simulating and visualizing the step-by-step winding of a carbon tape on a cylindrical surface. It is possible to optimize the friction coefficient to ensure the tightest winding of subsequent passes. The program takes into account reverse zones, which are calculated taking into account the friction coefficient of the cylindrical mandrel. Based on the simulated winding process, a control program for the robotic arm is generated. The performance of the proposed model and its implementation was tested on a test bench with a robot.

Keywords

carbon fiber winding, cylindrical part winding, winding process modeling, robotic winding, composite materials

Funding

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State Contract № FEFE-2020-0017).

For citation

Girn A. V., Kalashnikov A. S., Pikalov Y. Y. Modeling and programming of a spiral winding cycle using a robotic arm. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 5–16 (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-5-16

Введение

В космической отрасли в качестве несущих конструкций широко применяются изделия из углепластиковых композиционных материалов. Один из основных методов изготовления композитных оболочек – это намотка. Универсальный метод изготовления композитных конструкций повторяющимися витками нитей или лент в непрерывном автоматизированном режиме. Методом намотки можно получить любую выпуклую форму изделия, при условии, что намотку осуществляют с натяжением наматываемого материала.

Процесс намотки изделий является достаточно сложным в реализации и содержит целый комплекс проблем. Например, в [1] авторы решают проблемы неравномерности уплотнения композитного препрега на поверхности изделия. Как недостаточное уплотнение, так и переуплотнение, связанное с подачей уплотняющего катка, может привести к дефектам намоточных сопел. В статье [2] решаются вопросы, связанные с обеспечением оптимальных режимов работы лазера, нагревающего препрег до требуемой температуры. В статье [3] рассмотрена навивка цилиндрической и эллипсоидальной (купольной) части сосуда под давлением с участками различной кривизной оснастки. Модель управления мощностью лазера для равномерного управления температурой на поверхности. Предложенная методология оптимизации регулирует температуру в пределах отклонения 1,5 °С от желаемого значения. Работа [4] демонстрирует математическую модель для генерации управляющей программы, которая формируется для изготовления конкретного изделия. Модель учитывает кинематические особенности стан-

ка и позволяет производить оценку влияния различных возмущающих факторов метода намотки, на результат отработки управляющих программ. В статье [5] предлагается оригинальный метод управления радиальным приращением композитной намотки и ее плотностью. Он базируется на модели формирования композитной намотки, в основе которой лежит представление о движении точки наматывания материала по спирали в проекции, перпендикулярной оси вращения оправки. С целью повышения стабилизации натяжения слоев намотки и плотности авторы работы [6] предлагают систему управления геометрическими параметрами композитной намотки и ее плотностью. Для оптимального режима наматывания нитей авторы [7] рассматривают модель, учитывающую взаимосвязь модуля упругости и коэффициента Пуассона спирально-анизотропных материалов, физико-механические и кинематические параметры нити и системы намотки. В статье [8] изучены вопросы кинематики намотки концевых участков композитных цилиндрических и конических оболочек и получены зависимости, определяющие геометрические размеры и кинематические параметры спиральной намотки в зоне концевых участков оболочек

Таким образом, для успешной реализации процесса намотки изделий необходимо разработать математическую модель, от качества которой зависит точность прогнозируемого результата в конечном изделии.

Математическое моделирование и алгоритмизация

Данная статья описывает решение вопросов, связанных с моделированием процесса намотки цилиндрических стекло- и углепластиковых изделий с использованием робота-манипулятора.

Намотку цилиндрических изделий осуществляют за счет комбинации вращательного движения жесткой оправки и прямолинейного возвратно-поступательного движения исполнительного устройства, подающего ленту или нить препрега. Для обеспечения постоянной толщины и регулярной структуры стенки трубы на всей длине оправку изготавливают увеличенной длины для формирования участков разворота наматываемой ленты при ее обратном проходе (зона реверса). На конечном изделии данная зона удаляется и остается рабочий участок трубы с регулярной и однородной намоткой по всей поверхности.

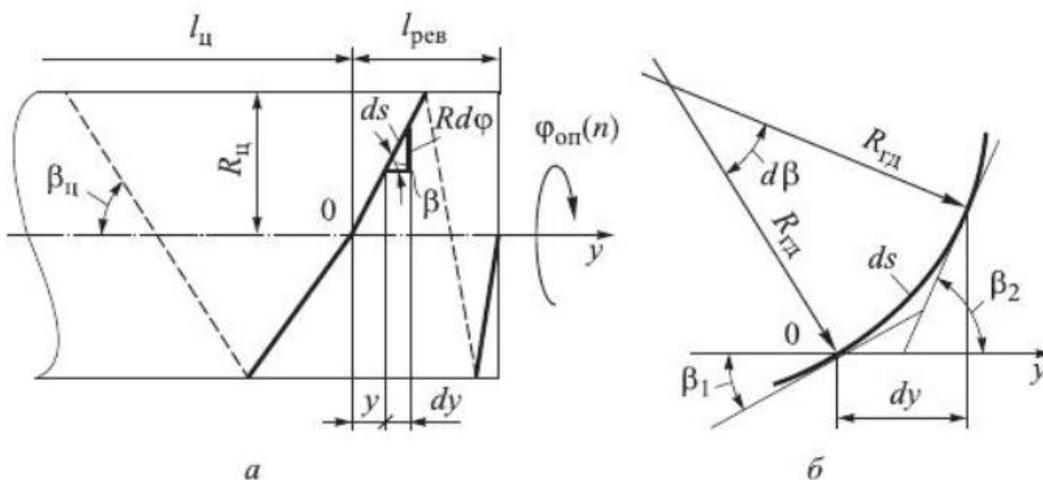


Рис. 1. Схема намотки с реверсом укладчика ленты
 Fig. 1. Winding scheme with reverse of the tape stacker

В зоне реверса укладчика происходит изменение угла намотки ленты относительно оси вращения и направления перемещения исполнительного устройства, что приводит к из-

менению углов намотки цилиндра от расчетного значения угла $\beta_{ц}$ до предельного значения $\beta = \beta(y) = \pi / 2$. Связь текущего значения угла наклона β к оси вращения цилиндра, длины зоны реверса $l_{рев}$ и угла поворота оправки $\varphi_{рев}$ определяется следующим уравнением (рис. 1, а) [8]:

$$d\varphi(y) = \operatorname{tg}\beta(y) dy / R_y, \quad (1)$$

где $\varphi_{оп}$ – угол вращения оправки; y – линейное перемещение суппорта; β – текущий угол намотки.

Зависимость, описывающая изменение угла намотки β на длине реверса ленты:

$$\frac{1}{\sin\beta} = \frac{1}{\sin\beta_y} - y \frac{\operatorname{tg}\theta}{R_y}. \quad (2)$$

Для определения полной длины реверса ленты принимается $y = l_{рев}$, а $\beta = \pi/2$, подставив данные значения в (2), получим:

$$l_{рев} = \frac{R_y(1 - \sin\beta_y)}{\operatorname{tg}\theta \sin\beta_y} = \frac{R_y(1 - \sin\beta_y)}{f \sin\beta_y}. \quad (3)$$

При полном реверсе ленты от угла $\beta = \beta_y$ до $\beta = \pi/2$ оправка соответственно повернется на угол

$$\varphi_{рев} = \frac{1}{\operatorname{tg}\theta} \ln \frac{\sin\beta_y}{1 - \cos\beta_y} = \frac{1}{f} \ln \frac{\sin\beta_y}{1 - \cos\beta_y}. \quad (4)$$

Оптимальной намоткой является укладка следующего прохода встык или с небольшим наложением, но практическая реализация идеальной геодезической намотки – задача трудно-выполнимая. Причинами этого являются погрешности технологической системы СПОН (станок – приспособление – оправка – нить).

Допустимое отклонение от геодезической линии определяется тангенсом угла трения θ , максимальное значение которого не может превышать коэффициент трения f между нитью и поверхностью оправки. Он зависит от натяжения нитей, вида армирующих волокон, состояния связующего, свойств материала поверхности оправки и в каждом конкретном случае определяется экспериментально.

Из выражения (3) следует, что чем меньше коэффициент трения f , тем зона реверса больше, чтобы армирующий материал не сползал с рассчитанных траекторий в процессе намотки, и наоборот – с высоким коэффициентом трения требуется меньшая зона реверса. Следовательно, определив коэффициент трения экспериментально, можно рассчитать кинематические параметры и произвести намотку. Для проведения экспериментальных исследований необходимо разработать математическую модель намотки и реализовать ее в виде управляющей программы на языке программирования Python.

Задав условия намотки, можно получить и визуализировать траекторию процесса. Модель не учитывает взаимодействия волокна с оснасткой и волокна с волокном. Тем не менее это позволяет оценить точность математических выкладок и в дальнейшем определить, с какими параметрами осуществлять намотку непропитанного армирующего волокна.

На рис. 2 представлены развертки намоток (4 прохода) с одинаковыми условиями: угол намотки, длина требуемого изделия (без реверсов), диаметр оснастки, ширина волокна, но с разными коэффициентами трения, равными: а) 0,2; б) 0,22; в) 0,215.

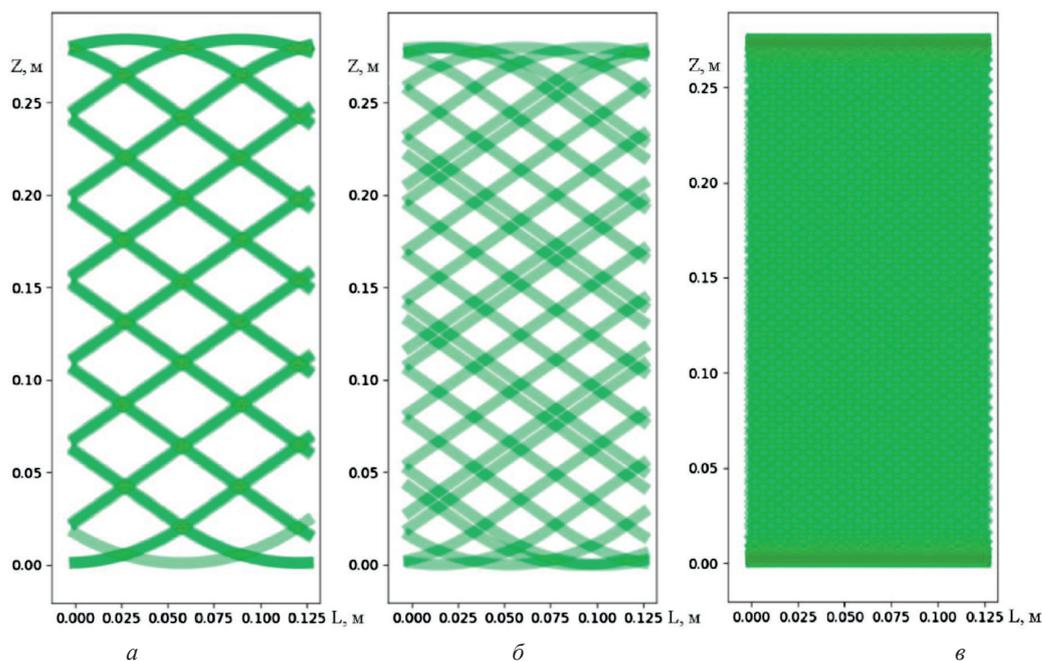


Рис. 2. Симуляции намотки с разными коэффициентами f : а) два прохода $f=0,2$; б) два прохода $f=0,22$; в) готовое изделие $f=0,215$
 Fig. 2. Winding simulations with different f coefficients: а) two passes $f=0.2$; б) two passes $f=0.22$; в) finished product $f=0.215$

Из проведенных расчетов следует, что изменение коэффициента f , а значит и зоны реверса, в значительной степени влияет на узор намотки. Аналогично при одном коэффициенте f , но разных прочих условиях намотки узор будет различным.

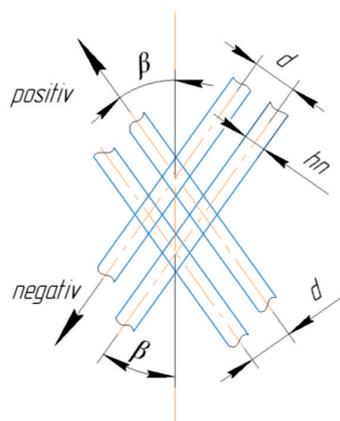


Рис. 3. Блок-схема алгоритма поиска оптимального коэффициента f
 Fig. 3. Block diagram of the algorithm for finding the optimal coefficient f

Для определения оптимальных параметров коэффициента трения прочие (диаметр и длина изделия, толщина нити) считаются постоянными и зафиксированными. Поиск оптимального коэффициента реализован программно – для каждого коэффициента рассчитывается зона реверса и производится расчет двух проходов намотки, в котором определяется расстояние между витками намотки d в одинаковых направлениях в середине изделия (рис. 3).

В случае когда это расстояние меньше или равно допустимому значению, оптимальное значение коэффициента трения считается найденным. Блок-схема алгоритма приведена на рис. 4.

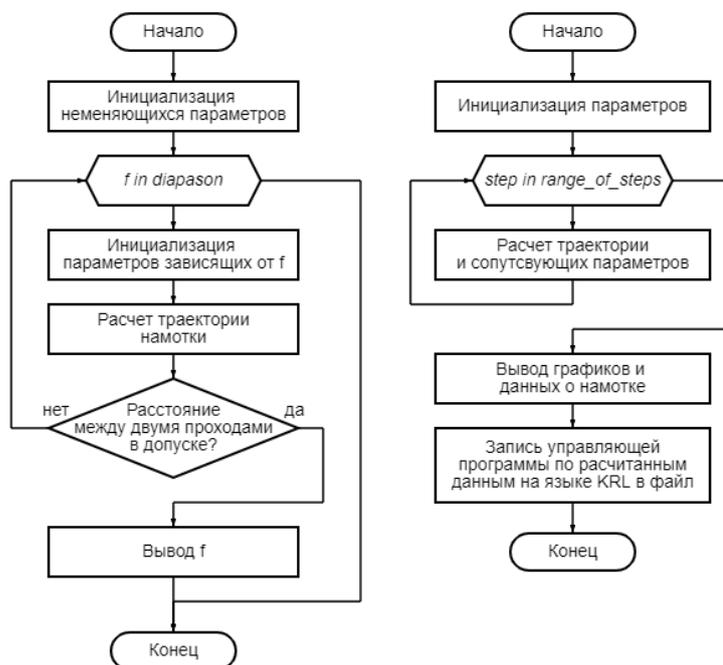


Рис. 4. Блок-схема алгоритма поиска оптимального коэффициента f
 Fig. 4. Block diagram of the algorithm for finding the optimal coefficient f

Найденный коэффициент трения обеспечивает оптимальную катушку, если реальный коэффициент трения равен или больше его. Тем не менее данный алгоритм позволяет упростить поиск оптимальной катушки, что важно при проектировании изготовления новых конструкций.

После определения оптимальных параметров процесса катушки вычисляются координаты точек траектории катушки и составляется управляющая программа для робота. Управляющая программа содержит вспомогательную информацию для оператора: длина волокна, размер катушки с зонами реверсов, толщина катушки. Графики сгенерированной траектории в пространстве представлены на рис. 5.

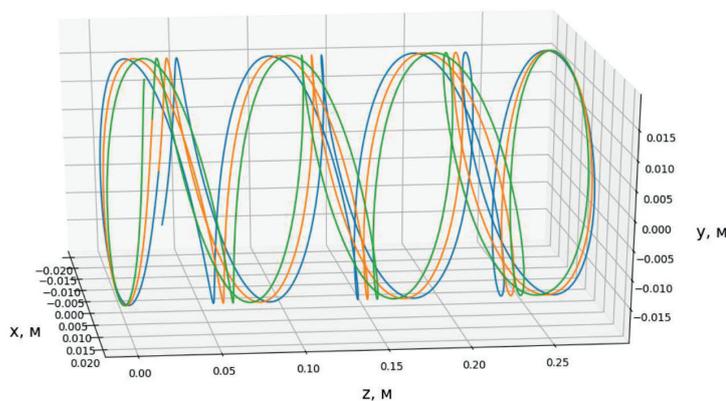


Рис. 5. Форма катушки, состоящая из трех проходов
 Fig. 5. Three-pass winding form

Блок-схема алгоритма расчета намотки представлена на рис. 6.

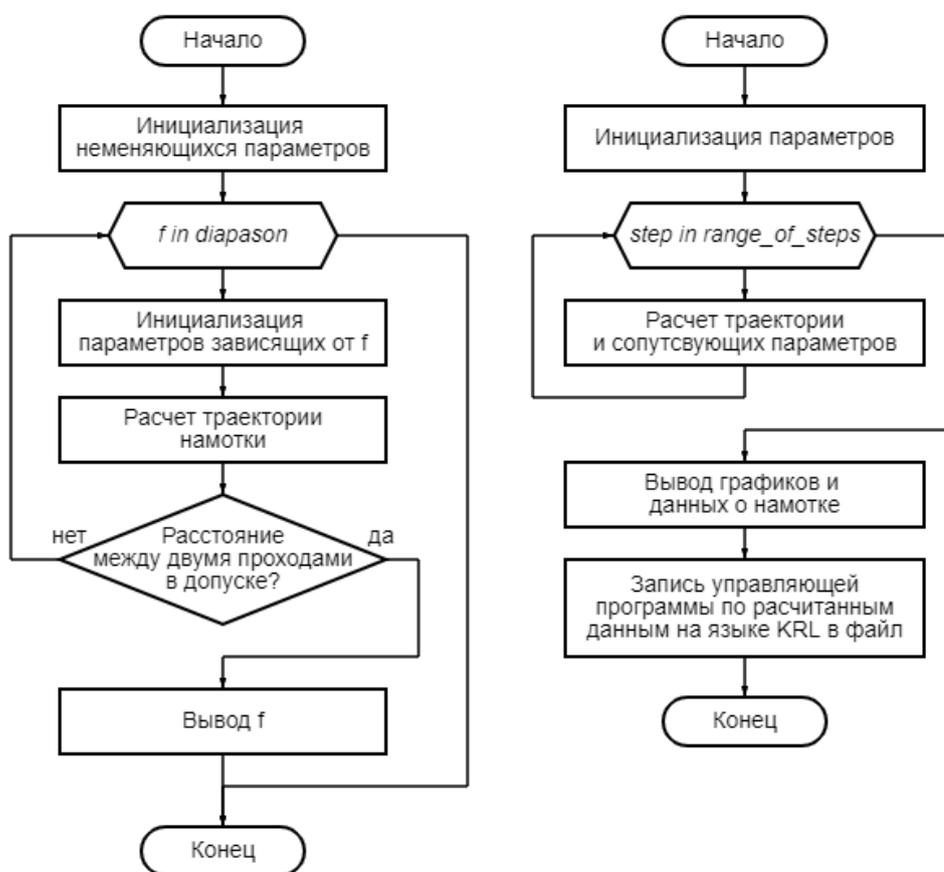


Рис. 6. Блок-схема алгоритма расчета намотки
 Fig. 6. Block diagram of the winding calculation algorithm

Симуляция предполагает, что подаваемое инструментом волокно сразу соприкасается с поверхностью оснастки, но при намотке необходимо обеспечить вылет нити из инструмента для предотвращения брака.

Точность изготовления характеризуется соответствием между получаемыми и проектируемыми размерами. При реализации процесса намотки необходимо дополнительно обеспечить безопасную дистанцию между устройством подачи армирующего волокна и оснасткой.

Для выполнения этого условия следует произвести корректировку управляющей программы, устройство подачи должно опережать расчетную координату на величину $h \cdot ctg(\beta)$.

Результаты моделирования

Таким образом, графики перемещения по оси Z без опережения и с опережением будут иметь вид, как на рис. 7.

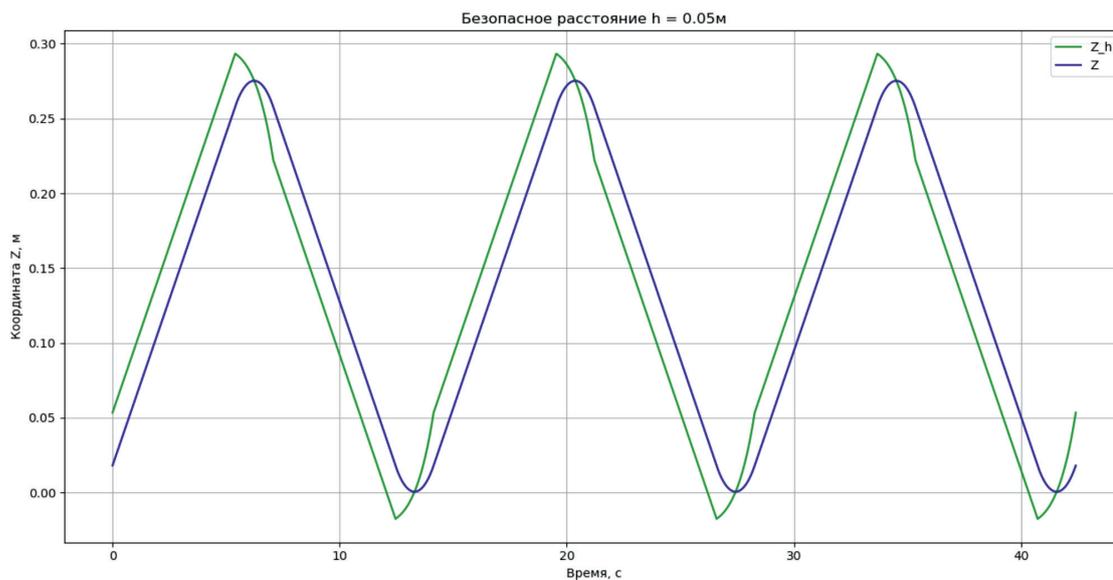


Рис. 7. Графики изменения координаты Z со временем:

Z – без опережения; Z_h – с опережением

Fig. 7. Graphs of changes in Z coordinate over time:

Z – without advance; Z_h – ahead

Графики скорости перемещения исполнительного устройства без опережения и с опережением будут иметь вид, как на рис. 8.

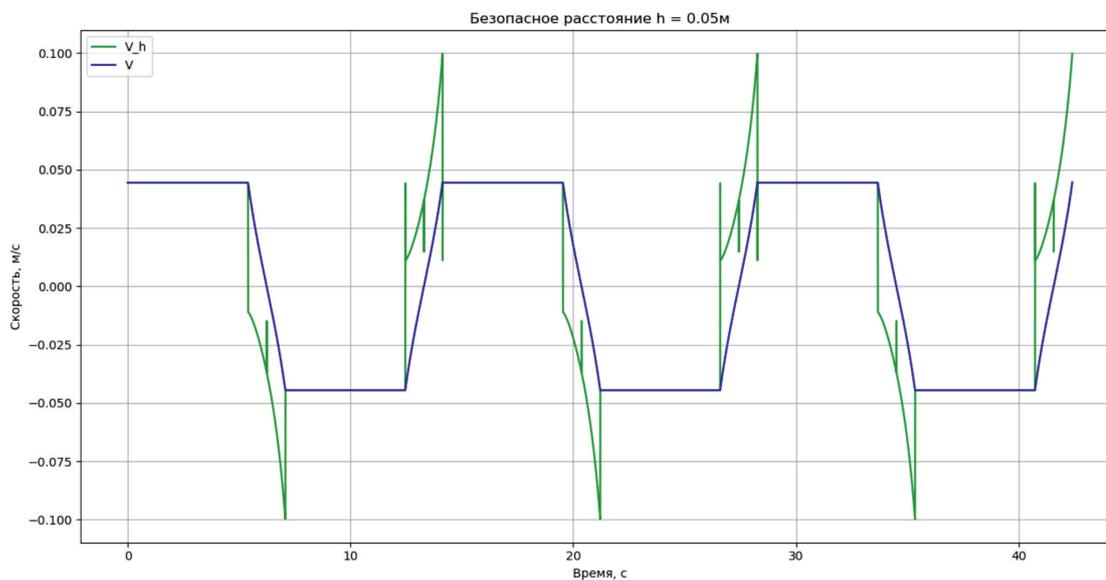


Рис. 8. Графики скорости перемещения со временем:

V – без опережения; V_h – с опережением

Fig. 8. Graphs of movement speed over time:

V – without advance; V_h – ahead

Так как в зоне реверса перемещение в каждую расчетную точку происходит с переменной скоростью, то система управления роботом не может выполнить плавные перемещения. Одна-

ко в зоне реверса высокой точности перемещения не требуется, так как в дальнейшем она подлежит удалению. В этой связи в управляющей программе указывается усредненная скорость для участков реверса (рис. 9).

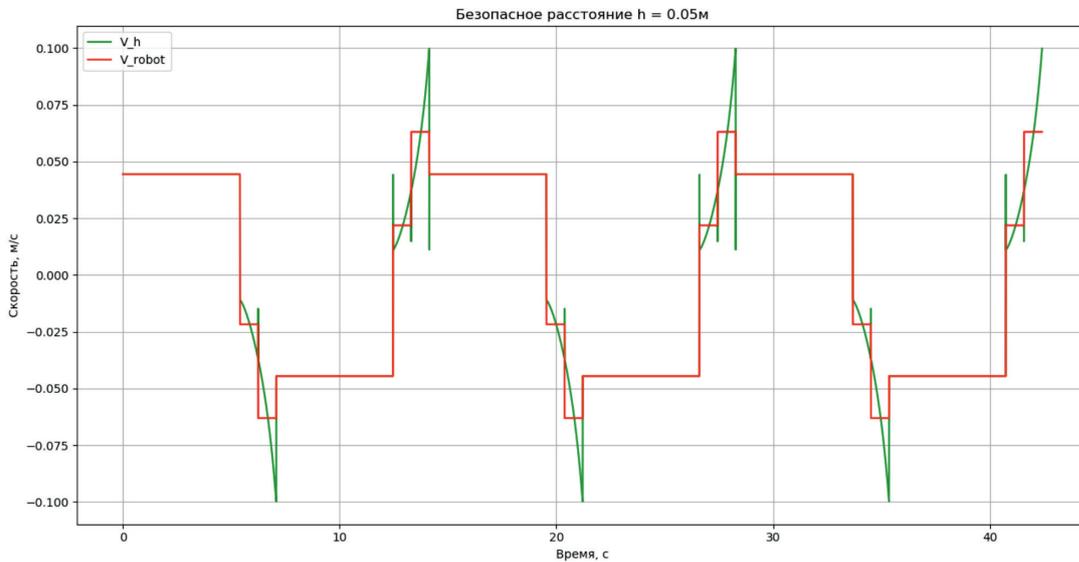


Рис. 9. Графики скорости перемещения со временем:
 V_h – с опережением; V_{robot} – для управления роботом-манипулятором
 Fig. 9. Graphs of movement speed over time:
 V_h – forward; V_{robot} – for controlling the robotic manipulator

В ключевые точки робот-манипулятор приходит за тот же промежуток времени, что достаточно для обеспечения расчетной намотки (рис. 10).

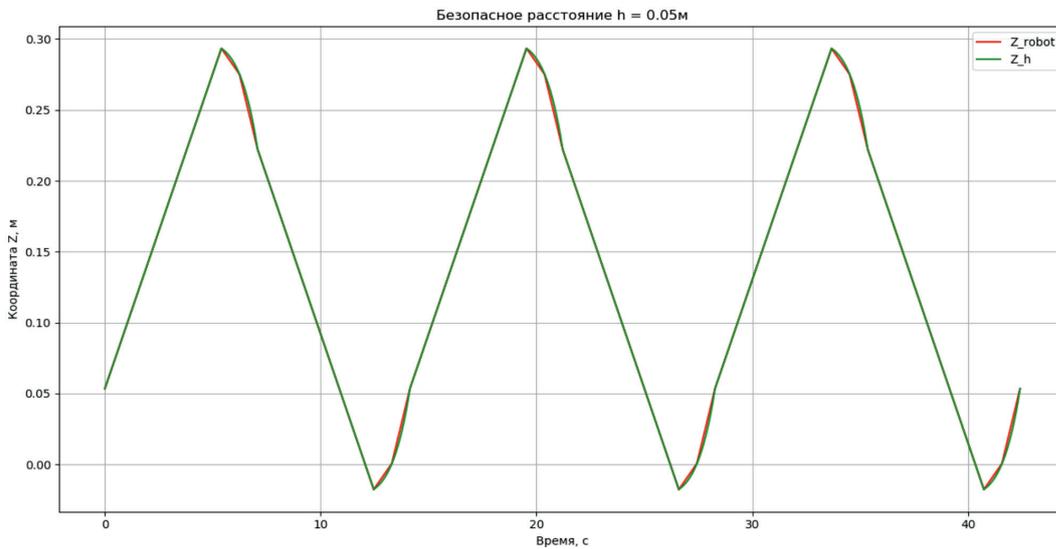


Рис. 10. Графики изменения координаты Z и скорости перемещения со временем:
 Z_h – с опережением; Z_{robot} – для управления роботом-манипулятором
 Fig. 10. Graphs of changes in Z coordinate and movement speed over time:
 Z_h – forward; Z_{robot} – for controlling the robotic manipulator

Для подтверждения работоспособности математической модели и разработанной программы был смоделирован процесс полной намотки трубы с учетом ширины композитной ленты. Кроме того, процесс намотки по полученной управляющей программе был реализован на работе. Ниже приведен фрагмент управляющей программы намотки на работе:

```
...
$VEL.CP=0.0711
SLIN {Z 692.915, B 35.3} C_DIS
$VEL.CP=0.0711
SLIN {Z 1692.884, B 35.3} C_DIS
$VEL.CP=0.0116
SLIN {Z 1704.303, B -0.0} C_DIS
$VEL.CP=0.0547
SLIN {Z 1650.277, B -35.3} C_DIS
$VEL.CP=0.0711
SLIN {Z 650.344, B -35.3} C_DIS
$VEL.CP=0.0115
SLIN {Z 638.946, B 0.0} C_DIS
$VEL.CP=0.0547
SLIN {Z 692.971, B 35.3} C_DIS
$VEL.CP=0.0711
SLIN {Z 1692.806, B 35.3} C_DIS
$VEL.CP=0.0116
...
```

На рис. 11, а показано устройство натяжения нити, на рис. 11, б – процесс намотки стекловолоконной ленты, на рис. 11, в – готовое изделие.

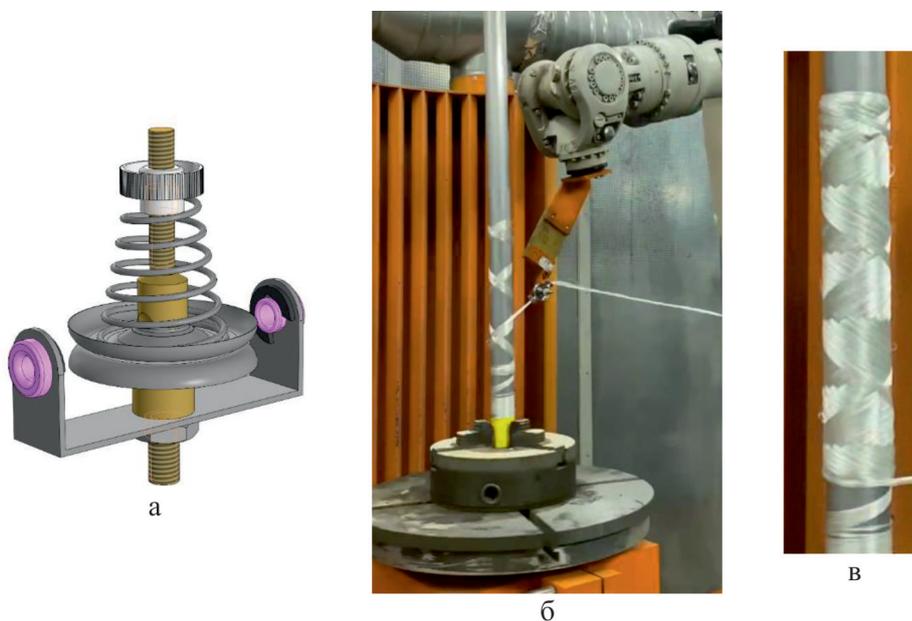


Рис. 11. Экспериментальная проверка математической модели
Fig. 11. Experimental verification of a mathematical model

Заключение

Таким образом, была подтверждена работоспособность математической модели процесса спиральной намотки, реализованной в программе для моделирования и генерации управляющей программы для робота. Математическая модель позволяет проводить оптимизацию по коэффициенту трения, обеспечивая необходимую регулярность профиля выкладки углеволокна на цилиндрической оправке.

В дальнейших исследованиях авторы предполагают учесть в математической модели неравномерность коэффициента трения по поверхности оснастки, а также постепенное увеличение радиуса изделия в процессе формирования. Экспериментальный стенд планируется оснастить силомоментными датчиками и системами технического зрения для оперативного контроля и корректировки параметров намотки.

Список источников

1. **He X., Shi Y., Kang C., Yu T.** Analysis and control of the compaction force in the composite prepreg tape winding process for rocket motor nozzles // *Chinese Journal of Aeronautics*. 2016. № 7. С. 1–10. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.cja.2016.07.004
2. **Hosseini S. M. A., Schäkel M., Baran I., Janssen H., Van Drongelen M.** A new global kinematic-optical-thermal process model for laser-assisted tape winding with an application to helical-wound pressure vessel // *Materials & Design*. 2020. Vol. 193. P. 108854. DOI:10.1016/j.matdes.2020.108854
3. **Zaami A., Baran I., Bor T.C., Akkerman R.** New process optimization framework for laser assisted tape winding of composite pressure vessels: Controlling the unsteady bonding temperature // *Materials & Design*. 2020. Vol. 196. A. 109130. DOI: 10.1016/j.matdes.2020.109130
4. **Устинова Е. С.** Моделирование намотки композитных конструкций // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2018. № 3. DOI: 10.17213/0321-2653-2018-3-27-33
5. **Кутьин А. Ю., Арясов Г. П.** Моделирование процесса намотки композитных цилиндрических оболочек // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2020. Т. 20. № 2. С. 283–289. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-2-283-2895
6. **Кутьин А. Ю., Мусалимов В. М., Поляков А. С.** Проектирование композитной намотки и управление процессом ее формирования // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2018. Т. 61(2). С. 160-166. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-2-160-166
7. **Мусалимов В. М., Монахов Ю. С., Кутьин А. Ю., Соловьева Г. А.** Моделирование процесса наматывания нитей на жесткий цилиндр // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2016. Т. 59(8). С. 657–663. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-8-657-663
8. **Комков М. А., Тарасов В. А., Бородулин А. С.** Спиральная намотка концевых участков композитных оболочек цилиндрической и конической формы // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия: Машиностроение*. 2012. С. 78–85.

References

1. **He X., Shi Y., Kang C., Yu T.** Analysis and control of the compaction force in the composite prepreg tape winding process for rocket motor nozzles. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2016, № 7, pp. 1–10. DOI: dx.doi.org/10.1016/j.cja.2016.07.004
2. **Hosseini S. M. A., Schäkel M., Baran I., Janssen H., Van Drongelen M.** A new global kinematic-optical-thermal process model for laser-assisted tape winding with an application to

- helical-wound pressure vessel. *Materials & Design*, 2020, vol. 193, pp. 108854. DOI:10.1016/j.matdes.2020.108854
3. **Zaami A., Baran I., Bor T.C., Akkerman R.** New process optimization framework for laser assisted tape winding of composite pressure vessels: Controlling the unsteady bonding temperature. *Materials & Design*, 2020, vol. 196, A. 109130. DOI: 10.1016/j.matdes.2020.109130
 4. **Ystinova E. S.** Modeling of composite structures winding. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Technical science*, 2018, № 3, pp. 27-33. DOI: 10.17213/0321-2653-2018-3-27-33 (in Russ.)
 5. **Kutin A. Yu., Aryasov G. P.** Modeling of winding process of composite cylindrical shells. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 283–289 (in Russ.). DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-2-283-2896
 6. **Kutin A. Yu., Musalimov V. M., Polyakov A. S.** Design of composite winding and control of the process of its formation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroyeniye*, 2018, vol. 61(2), pp. 160–166. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-2-160-166 (in Russ.)
 7. **Musalimov V. M., Monakhov Yu. S., Kut'in A. Yu., Solov'yeva G. A.** Modeling the process of winding threads on a rigid cylinder. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroyeniye*, 2016, vol.59(8), pp. 657–663. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-8-657-663 (in Russ.)
 8. **Komkov M. A., Tarasov V. A., Borodulin A. S.** Spiral winding of the ends of composite shells with cylindrical and conical shapes. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N. E. Bauman, Seriya: Mashinostroyeniye*, 2012, pp. 78–85. (in Russ.)

Информация об авторах

Алексей Васильевич Гирн, кандидат технических наук

Алексей Сергеевич Калашников, лаборант-исследователь

Яков Юрьевич Пикалов, кандидат технических наук

Information about the Authors

Aleksey V. Girn, Candidate of Technical Sciences

Alexey S. Kalashnikov, Laboratory Assistant Researcher

Yakov Yu. Pikalov, Ph.D.

Статья поступила в редакцию 24.11.2023;
одобрена после рецензирования 27.12.2023; принята к публикации 27.12.2023

The article was submitted 24.11.2023;
approved after reviewing 27.12.2023; accepted for publication 27.12.2023

Научная статья

УДК 004.8 + 81'322

Doi 10.25205/1818-7900-2023-21-4-17-45

Представление синтаксических структур с сочинительными конструкциями и омонимией

Дмитрий Витальевич Демидов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Москва, Россия

dvdemidov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0261-3604>

Аннотация

Рассматриваются примеры сочинительных конструкций, для которых сложно или невозможно построить удовлетворительные синтаксические структуры в рамках известных формализмов – деревьев зависимостей, непосредственных составляющих, систем синтаксических групп. Предлагается подход к представлению синтаксических структур с сочинительными конструкциями. Описываются отличия предлагаемого подхода от рассматриваемых формализмов и рассматриваются альтернативные способы визуализации синтаксических структур. Показывается влияние омонимии на автоматическое построение синтаксической структуры. Приводятся примеры морфологической и синтаксической омонимии. Иллюстрируется необходимость явного представления омонимии и предлагается подход к представлению омонимичных морфологических и синтаксических структур.

Ключевые слова

визуализация синтаксических структур, сочинительные конструкции, эллиipsis, морфологическая омонимия, синтаксическая омонимия

Благодарности

Работа выполнена при поддержке моей семьи.

Для цитирования

Демидов Д. В. Представление синтаксических структур с сочинительными конструкциями и омонимией // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 4. С. 17–45. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-17-45

Representation of Syntactic Structures with Coordinating Conjunctions and Homonymy

Dmitry V. Demidov

National Research Nuclear University “MEPhI”
Moscow, Russian Federation

dvdemidov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0261-3604>

Abstract

The paper discusses sentences with coordinating conjunctions and homonymy where it is hard or impossible to build feasible syntactic structures using well-known models – dependency-based parse trees, constituency-based parse trees, and syntactic groups model. We suggest an approach to represent syntactic structures of sentences with conjunctions. We

© Демидов Д. В., 2023

present features which distinguish our approach from the models under investigation. The paper shows multiple ways of visualization of syntactic structures. We illustrate how homonymy influences parsing and give examples of lexical and syntactic homonymy. We show the need to represent homonymy explicitly and suggest an approach to homonymy representation in morphological and syntactic structures.

Keywords

visualization of syntactic structures, sentences with coordinating conjunctions, ellipsis, lexical homonymy, syntactic homonymy

Acknowledgements

The work was carried out with the support of my family.

For citation

Demidov D. V. Prepresentation of syntactic structures with coordinating conjunctions and homonymy. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 17–45. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-17-45

1. Трудности с системами составляющих, деревьями подчинения и системами синтаксических групп

При глубоком рассмотрении вопросов синтаксического анализа и представления результатов разбора оказывается, что распространенные формализмы, методологии, программные инструменты, предназначенные для построения синтаксических структур (СинтС), на целом ряде примеров демонстрируют неудовлетворительные результаты.

Наибольшую сложность для синтаксического анализа представляют собой такие явления, как синтаксическая неполнота предложения, эллипсис, омонимия (как на уровне морфологии, так и на уровне синтаксиса), разрыв составных слов, непроективность, сочинение и подчинение предложений в составе сложного предложения.

Существующие аппараты могут хорошо справляться с одними явлениями и не справляться с другими. При этом, по всей видимости, ни один из известных аппаратов в полной мере не способен адекватно выражать структуры предложений с перечисленными выше явлениями. Одна из причин этого видится в стремлении соблюсти критерий древесности любой ценой, что представляется не всегда уместным.

Рассмотрим семейство грамматик непосредственных составляющих, описанных, например в [1–3], включая разновидности типа размеченных систем составляющих, систем составляющих с признаками (Feature context free grammars).

В [1] приводится три альтернативных разбора предложения «Мы увидели древние стены города» (пример Ежи Куриловича, 1948), из которых приходится выбирать «наиболее естественный»:

Мы увидели (древние (стены города))

Мы увидели ((древние стены) города)

Мы увидели (древние стены города)

Вообще, слишком вольная грамматика порождает множество альтернатив гигантских размеров (экспоненциальный рост от числа правил) и может допускать разбор синтаксически ошибочных предложений. Слишком строгая грамматика порождает существенно меньше вариантов, но в то же время кратно растут риски не породить вообще ни одного дерева для допустимого предложения.

В непроективном предложении «Он из Германии туманной привёз учёности плоды» А.С. Пушкина определение «туманной» стоит ближе к «Германии», чем к определяемому им слову «учёности», что порождает ошибочное восприятие:

Он (из (Германии туманной)) привёз (учёности плоды).

Корректную систему составляющих здесь вообще не получается построить, так как определение отделено от определяемого слова предикатом – главным членом предложения.

А вот аппарат деревьев зависимостей (подчинения, доминации), описанный в работах [1; 2; 4], и представленный в онлайн-базах СинТагРус¹ или UD Project², вполне справляется с этой задачей. Непроективность наглядно выражена пересечением стрелок (рис. 1).



Рис. 1. Неразмеченное дерево подчинения для непроецивного предложения
Fig. 1. The unlabeled dependency tree for a non-projective sentence

Среди недостатков деревьев подчинения можно отметить требование тотальной направленности связей, что приводит к неадекватному представлению неподчинительных отношений (сочинение, существительное с предлогом, составное числительное, количественное числительное с существительным и т. п.). Например, в предложении «Петя, Вася и Коля пошли гулять» все трое являются субъектами действия (подлежащими), но при этом они являются однородными членами, связанными в сочинительную цепочку. Подход группы Апресяна [4], требует единственности подлежащего и единственности синтаксического хозяина у каждого слова, что приводит к несколько искусственному дереву подчинения, где сочинительная связь доминирует над предикативной (рис. 2, *слева*). Подход Падучевой [5] подразумевает проведение подчинительной связи к союзу (рис. 2, *справа*), как к связующему элементу конъюнкции, что вполне приемлемо для функционально однородных конструкций. При этом союз в качестве подлежащего выглядит противоестественно.

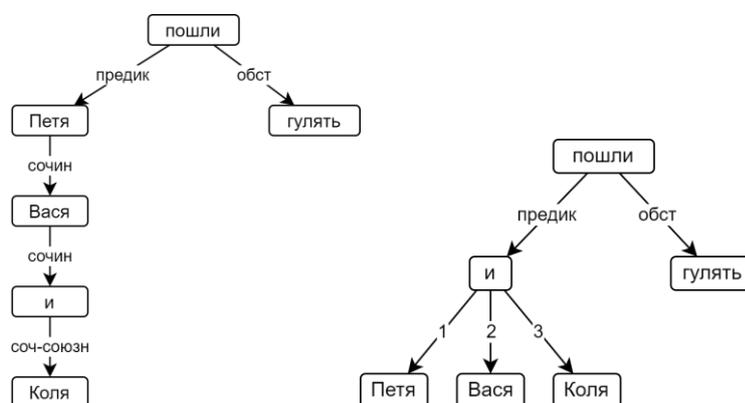


Рис. 2. Размеченные деревья зависимостей для предложения с однородными подлежащими по Апресяну (*слева*) и Падучевой (*справа*)

Fig. 2. Labeled dependency trees for a sentence with compound subjects by Apresyan (*left*) and Paducheva (*right*)

Рассмотрим предложение «Кто, что и кому говорил». Для него характерна лексико-семантическая однородность, когда актантные отношения различаются. В аналогичном примере³ из СинТагРуса словосочетание «кто и что» становится сочинительной цепочкой, а слово «что» привязывается к сказуемому через подлежащее, хотя ясно, что оно играет роль дополнения.

¹ <https://ruscorpora.ru/new/search-syntax.html>

² <https://universaldependencies.org/ru/index.html>

³ https://media.ruscorpora.ru/syntax/ver1/nodia/2010/realnaya_politika_85.png

Слово «кому» по той же логике связывается со сказуемым через подлежащее, хотя играет роль второго дополнения. Таким образом, существенные различия ролей подчиняемых слов утрачиваются в сочинительной цепочке, и на рис. 3 мы видим такую же маркировку, что и на рис. 2. На рис. 3, *справа* для наглядности дана эквивалентная визуализация, сохраняющая порядок слов в предложении.

Идея решения этой проблемы звучит еще у Пешковского [6], допускающего независимое участие слова как в отношении подчинения, так и в отношении сочинения. Основанный на этой идее подход Санникова в [7] приводит к синтаксической структуре, в которой нарушена древность в целом, но сохранена древность по отношению подчинения (рис. 4).

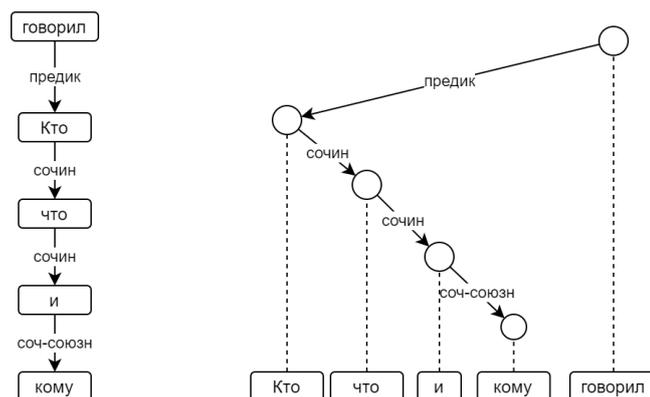


Рис. 3. Размеченное дерево зависимостей для предложения с разнофункциональными однородными членами

Fig. 3. The labeled dependency tree for a sentence with homogeneous parts and different actant roles

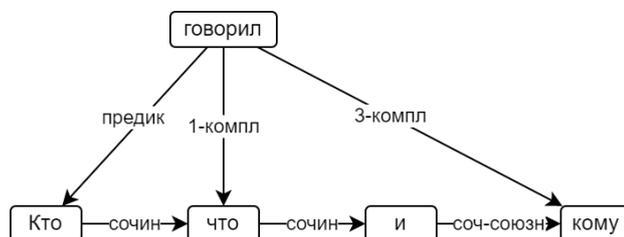


Рис. 4. Размеченное дерево зависимостей с нарушением древности для предложения с разнофункциональными однородными членами

Fig. 4. The labeled dependency tree with single-root constraint violation for a sentence with homogeneous parts having various roles

Мельчук в [8] отмечает конечной целью синтаксического анализа установление связей между словоформами в пределах частей сложного предложения и **между частями сложного предложения**. В деревьях подчинения нет места словосочетаниям, поэтому неизбежны трудности моделирования сентенциальных связей. Рассмотрим предложение «Дом, который построил Джек» и дерево зависимостей для него (рис. 5). Корнем дерева зависимостей для определительного оборота «который построил Джек» является предикат «построил», и именно через него весь оборот подчиняется определяемому слову «дом». И это при том, что предикат не способен подчиняться слову «дом». Интуитивно гораздо сильнее связь слова «дом» со словом «который», а вовсе не с «построил». Аналогично в сложноподчиненных и сложносочиненных предложениях деревья подчинения будут построены для каждой из частей предложения,

Рис. 5. Дерево зависимостей для предложения с определительным придаточным оборотом
 Fig. 5. The dependency tree for a sentence with a subordinate clause



а затем корни этих поддеревьев будут искусственно связаны отношением подчинения.

В системах составляющих подобных трудностей по понятным причинам не возникает. Отметим аппарат построения размеченных синтаксических групп в проекте АОТ⁴, где результатом разбора является совокупность групп (составляющих), но вместо порождающей грамматики используются синтаксические правила, как у Апресяна для построения деревьев зависимостей [4].

В книге [1] Гладкий приводит глубокое и подробное обоснование недостаточности систем составляющих и деревьев подчинения и разрабатывает критерии неразложимости словосочетаний, на основе которых создает формальный аппарат систем синтаксических групп (ССГ) с отношением подчинения. Прорывным достоинством ССГ является способность представлять и связывать в явном виде цельные фрагменты предложения: простые предложения внутри сложных, обороты, прямую речь. Кроме того, удается построить проективные ССГ для многих предложений, которые считаются непроективными с точки зрения аппарата деревьев подчинения. На рис. 6 приводится непроективное дерево зависимостей и проективная ССГ для непроективного предложения «Летом здесь будут играть дети».

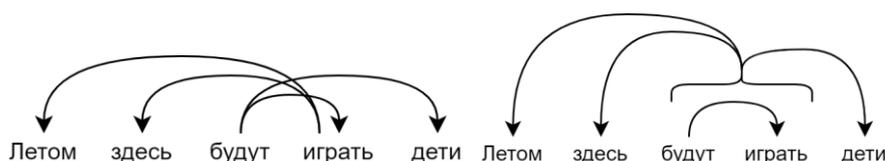


Рис. 6. Дерево зависимостей (слева) и ССГ (справа) для непроективного предложения
 Fig. 6. The dependency tree (left) and the syntactic groups system (right) for a non-projective sentence

Гладкий выбирает весьма лаконичный линейный способ графического отображения ССГ, который хорошо подходит для проективных предложений. Однако наглядность быстро теряется из-за непроективности или разорванных групп, как например, в предложении «Без шапки Иван ходить не любил» (рис. 7).

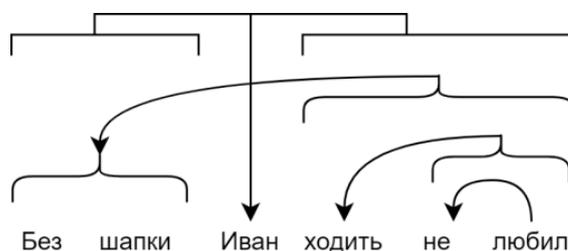


Рис. 7. ССГ с разорванной группой для непроективного предложения
 Fig. 7. The syntactic groups system with a discontinuous group for a non-projective sentence

⁴ <http://aot.ru/>

Как указывает Гладкий, аппарат ССГ нуждается в расширении для адекватного описания сочинительных конструкций. В работе Коротаева [9] аппарат ССГ расширяется неразмеченным подчинением, которое обязано проявляться размеченными отношениями. Введенное усовершенствование позволяет корректно представлять лексико-семантическую однородность (рис. 8).

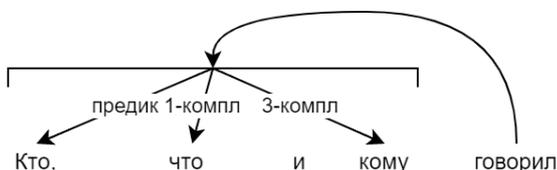


Рис. 8. ССГ по Коротаеву для предложения с разнофункциональными однородными членами
Fig. 8. The syntactic groups system by Korotaev for a sentence with homogeneous parts of various roles

Однако описанного расширения ССГ оказывается недостаточно для выражения других видов сочинения. Так, не удастся построить удовлетворительных ССГ для таких предложений, как «Построены новые и отремонтированы старые столовые», «Вчера он возил сено, сегодня дрова», осложненных анафорическим эллипсисом. Для выражения опущенных слов Падучева в [5] предлагает использовать нулевой знак \emptyset (рис. 9). В [2] Тестелец называет их синтаксическими невидимками. Идея с нулевым знаком используется также и в СинТагРусе⁵.

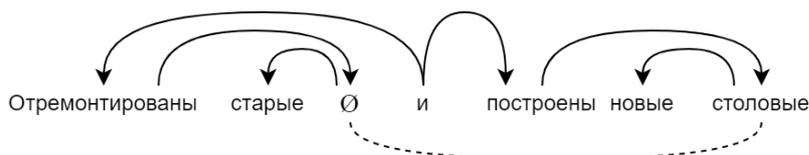


Рис. 9. Дерево зависимостей для предложения с эллипсисом по Падучевой
Fig. 9. The dependency tree for a sentence with ellipsis by Paducheva

В аппарате ССГ понятие нулевого знака отсутствует. Более того, автоматизация построения ССГ затруднительна, так как описанная в [1; 9] процедура местами апеллирует к «лингвистической интуиции». Отчасти по этой причине не создано корпуса ССГ. Несмотря на это, подход Гладкого видится весьма перспективным.

В табл. 1 сравниваются подходы к представлению синтаксических структур.

2. Предлагаемый подход к описанию синтаксических структур

2.1. Графическая нотация

Предлагаемый графический язык рассчитан на представление СинтС по крайней мере трех видов для удобства их сравнения: систем составляющих, деревьев подчинения и ССГ. Элементами СинтС являются слова предложения, синтаксические группы, а также в некоторых случаях нулевой знак. Будем отображать элементы скругленными прямоугольниками, а группы дополнительно выделять темным фоном. Корнем СинтС является синтаксическая группа, тождественная всему предложению.

⁵ http://media.ruscorpora.ru/syntax/ver1/nodia/2009/obrazovanie_-_novaya_model_9.png

Таблица 1

Table 1

Подходы к представлению синтаксических структур

Approaches to syntactic structure representation

Явление	Пример	Аппарат						
		Системы составляющих	Деревья зависимостей	ДЗ, Санников	ДЗ, Падучева	ССГ, Гладкий	ССГ, Коротяев	
1	2	3	4	54	6	7	8	
Подчинение	<i>Я есть</i>	-	+	+	+	+	+	
Составные слова	<i>Двадцать пять</i> <i>С мясом</i> <i>Будут играть</i> <i>Будто бы</i>	+	Отношение подчинения	Аналогично ДЗ	Аналогично ДЗ	Аналогично ДЗ	Аналогично ДЗ	
		Кортеж составляющих	±	±	±	+	+	
			Моделируются отношениями подчинения (аддит, предл, анализ, вепом, огранич и др.).	Аналогично ДЗ	Аналогично ДЗ	Синтаксические группы	Аналогично ССГ	
Сочинительные конструкции с функциональной однородностью	<i>Петя и Маша</i> <i>пошли гулять</i>	±	±	+	±	+	+	
		Кортеж равноправных составляющих. Подчинение предикату моделируется разметкой и иерархизацией составляющих NP и VP	±	±	±	±	±	
			Предикативная связь к первому члену сочинительной конструкции. Каждый последующий член подчиняется предыдущему. Сочинительные отношения доминируют над подчинительными	Предикативные связи к членам сочинительной конструкции. Сочинительные отношения между ее членами. Нарушение дресности структуры, но ацикличность ДЗ в частности	Предикативная связь к союзу как к корню сочинительной конструкции. Сочинительные связи от союза к членам сочинительной конструкции	ССГ «Петя и Маша» с подчинением предикату	ССГ «Петя и Маша» с нерасчлененным подчинением предикату. Уточнение нерасчлененного подчинения внутри группы (две предикативные связи)	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Сочинительные конструкции с лексико-семантической однородностью (разнофункциональной подчиненностью)	<i>Кто, что и кому говорил</i>	- Кортеж «Кто, что и кому». Подчинение предикату группы NP с разными актантами предиката VP	- Предикативная связь к первому члену сочинительной конструкции. Утрата комплетивных связей в пользу сочинительных	+ Непосредственное размыченное подчинение актанта предикату с соответствующей разметкой. Сочинительные отношения между членами цепочки. Нарушение дресности	- Предикативная связь к союзу, сочинительные связи к членам сочинительной конструкции. Утрата комплетивных связей в пользу предикативной	± СГ «Кто, что и кому» с подчинением предикату. Невозможность корректной разметки подчинения	+ СГ «Кто, что и кому» с неразмыченным подчинением предикату. Прояснение подчинения предикативной и комплетивными связями
Именные предлогочные предложения	<i>Дом, который построил Джек</i>	+ Определительная NP, образованная из главной именной группы и группы «кого-рый построил Джек»	- Искусственно моделируется релятивной связью к корню предлогочного предложения (построил), который вообще-то не способен подчиняться определительному слову (дом)	- Аналогично ДЗ	- Аналогично ДЗ	+ СГ предлогочного «который построил Джек» подчиняется определяемому слову	+ Аналогично ССГ
Сложноподчиненные предложения, обстоятельственные предлогочные предложения	<i>На улице отворачиваясь, что идет дождь</i>	± Иерархия составляющих S и S. Разметка составляющих	± Корень главного предложения подчиняется второстепенного предложения (обст)	± Аналогично ДЗ	± Корень главного предложения подчиняется второстепенного предложения	+ СГ главного предложения подчиняется второстепенного предложения	+ СГ главного предложения подчиняется второстепенного предложения

Бессоюзные сложносочиненные предложения	<i>На улице холодно, идет дождь</i>	Кортеж равноправных составляющих S и S	± Корни простых предложений связываются направленной сочинительной связью (сент-соч)	± Аналогично ДЗ	± Корни простых предложений (предикаты) подчиняются союзу, выраженному нулевым знаком (!)	± Две СГ для простых предложений и общая СГ для всего предложения	+	Аналогично ССГ
Сложносочиненные предложения с союзом	<i>Ваня окучивал картошку, а Миша поливал огурцы</i>	Кортеж равноправных составляющих	± Корни простых предложений чередуются связываемыми сочинительными связями в цепочку (сент-соч, соч-союзн)	± Аналогично ДЗ	± Корни простых предложений (предикаты) подчиняются союзу	+	+	Аналогично ССГ
Простое предложение с однородными сказуемыми и общим подлежащим	<i>Сестра поправила подушку и выключила свет</i>	Присоединение именной группы подлежащего к первому предикату. Подъем подлежащего	± Подлежащее подчинено первому предикату. Корни простых предложений (предикаты) связываются через сочинительное отношение.	+	± Оба предиката подчиняются союзу. Подлежащее подчиняется первому предикату либо союзу (!)	+	+	Аналогично ССГ
Сочинение простых предложений с общим обстоятельством	<i>Вечером подул сильный ветер и пошел снег</i>	Присоединение обстоятельства к первой VP	± Обстоятельство подчинено первому предикату. Корни простых предложений	+	± Оба предиката подчиняются союзу. Обстоятельство подчиняется первому	+	+	Аналогично ССГ

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Сочинение простых предложений подлежащим и разными определениями	<i>Отремонтированы старые и построены новые столовые</i>	± Система составляющих с прилагательным «старые» в качестве именной группы, если такое допустимо грамматикой	± ДЗ с прилагательным «старые» в роли существительного	± Аналогично ДЗ (предположительно)	+ ДЗ с нулевым знаком для «столовые»	- ССГ не построена	- ССГ не построена
Сочинение полного и неполного предложений с двойным эллипсисом	<i>Вчера он возил сено, а сегодня дрова</i>	± Группа S из полного простого S', противительного союза и неполного простого S''. Может ошибочно выглядеть как назывное предложение с подлежащим «дрова» из-за падежной омонимии	± ДЗ с сочинительной группой «сено-дрова» и неадекватная разметка зависимости «дрова-сегодня». Зависит от парсера	± Аналогично ДЗ (предположительно)	+ Нулевые знаки для второго подлежащего и второго предиката с анафорическими ссылками на антецеденты. Выглядит как разделение подлежащего и сказуемого	- ССГ не построена	- ССГ не построена
Синтаксическая омонимия	<i>Его стихи лучше, чем музыка</i>	± Сравнительная группа с неполной правой частью	+ Выразимы обе структуры, если допустить нулевой знак	+ Выразимы обе структуры, если допустить нулевой знак	+ Выразимы две структуры: про музыку вообще и про его музыку (с нулевым знаком)	± Один вариант про музыку вообще	± Аналогично ССГ

Элементы структуры связываются бинарными отношениями. Графически отношения подчинения будем отображать сплошными стрелками с пометами поверхностно-синтаксических отношений от синтаксического хозяина к зависимому слову. Пунктирными стрелками без помет будем отображать отношения меронимии. Так, в зависимости от структуры синтаксической группы, отношением меронимии будем связывать ее с непосредственными партонимами или с корнем ее дерева зависимостей или с головой сочинительной цепочки, подразумевая, что все элементы дерева (цепочки) включаются в эту группу. Отношения между членами сочинительной цепочки будем отображать пунктирными стрелками с пометами *сочин*, *сочч-союзн*, *сент-соч*. Анафорические отсылки к antecedенту/постседенту будем отображать пунктирными стрелками с пометами *anph*.

Критерий древесности будем применять по отношениям подчинения, сочинения и меронимии отдельно (независимо друг от друга).

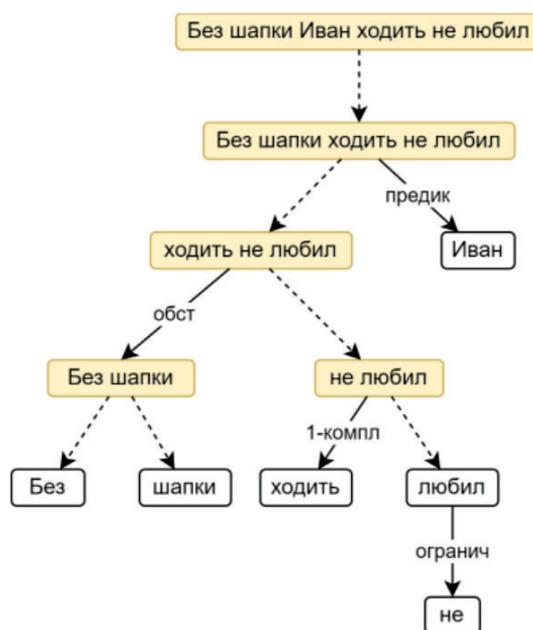


Рис. 10. СинтС с разорванной группой для непроективного предложения
 Fig. 10. Syntactic structure with a discontinuous group for a non-projective sentence

На рис. 10 в предложенной нотации визуализирована ССГ, построенная ранее для предложения «Без шапки Иван ходить не любил». Рассмотрим два альтернативных способа визуализации, отброшенных по разным причинам. На рис. 11 представлен способ, в котором ширина узла группы соответствует ширине цепочки слов, входящих в эту группу. Это приемлемо для неразрывных групп, но, к сожалению, не годится для разрывных – слово «Иван» не должно «накрываться» группой «Без шапки ходить не любил». На рис. 12 группы распределены по уровням, так что один уровень соответствует одной группе. Однако этот способ сильно проигрывает в наглядности, а ситуация разрывов достаточно редка, чтобы жертвовать ценными для визуализации свойствами.

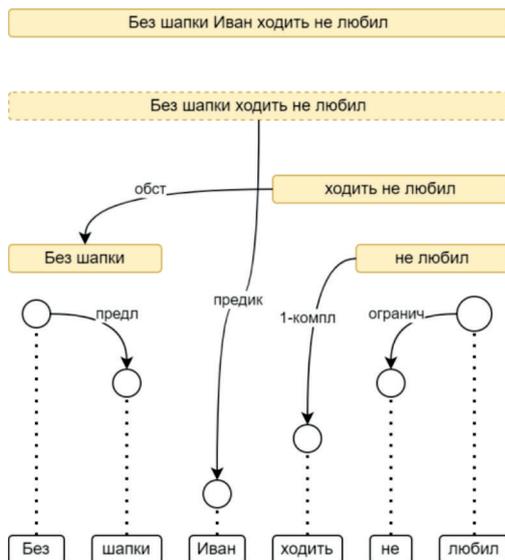


Рис. 11. СинтС с растягиванием групп по ширине
 Fig. 11. Syntactic structure with adjusting groups by width

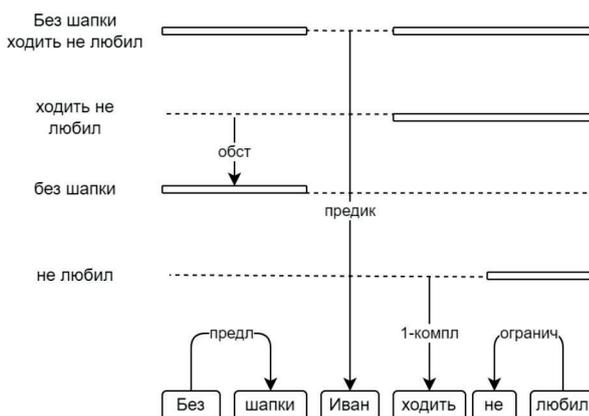


Рис. 12. СинтС с расположением групп по уровням
 Fig. 12. Syntactic structure with Y-leveling of groups

2.2. Сочинение однородных членов предложения

Вернемся к предложению «Петя, Вася и Коля пошли гулять», для которого деревья подчинения на рис. 2 сочтены неадекватными. На рис. 13 предлагается синтаксическая структура, в которой, в соответствии с идеями Санникова, сочинительные связи не конкурируют с подчинительными. При этом снято ограничение на единственность подлежащего, что позволяет напрямую подчинить каждый из субъектов сказуемому. СинтС не древовидна, хотя можно сказать, что она древовидна по отношению подчинения и сочинения отдельно.

Для предложения «Кто, что и кому говорил» дерево зависимостей на рис. 3, помимо прочего, грубо нарушало логику актантных синтаксических отношений. На рис. 14 предлагается структура, в которой явно показаны и размечены различные актантные отношения подчинения членов сочинительной группы предикату.

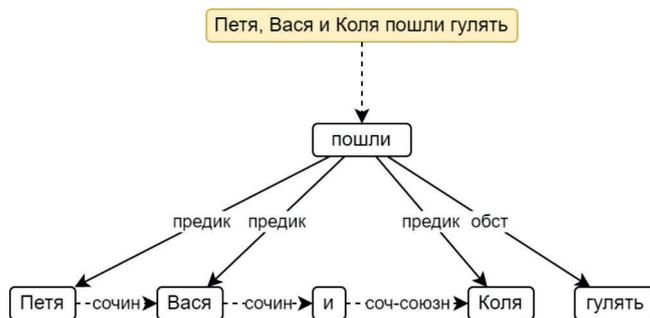


Рис. 13. СинтС с подчинением однородных подлежащих предикату
 Fig. 13. Syntactic structure for a sentence with compound subjects subordinated to the same predicate



Рис. 14. СинтС для предложения с разнофункциональными однородными членами (лексико-семантической однородностью)
 Fig. 14. Syntactic structure for a sentence with homogeneous parts having various roles

Рассмотрим предложение с однородными сказуемыми и общим подлежащим «Сестра поправила подушку и выключила свет». На рис. 15 показана ССГ из [1], в которой подлежащее подчинено сочинительной группе предикатов с дополнениями. По всей видимости, схожий прием подъема подлежащего описан Ружичка в [10] для систем составляющих.

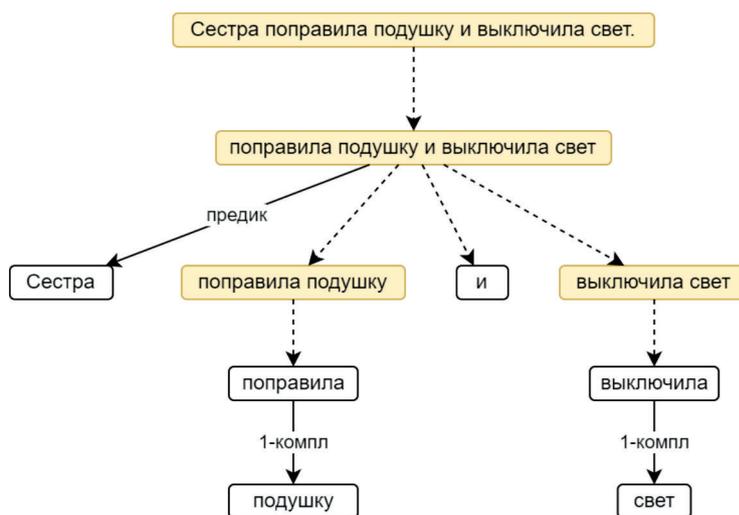


Рис. 15. ССГ для предложения с сочинением сказуемых по Гладкому
 Fig. 15. A system of syntactic groups by Gladkiy for compound predicates sharing subject

Санников в [7] относит случай однородных сказуемых к сочинению членов предложения, т. е. использует сочинительную, а не сентенциально-сочинительную связь. При этом ситуация содержательно схожа с однородными подлежащими при общем сказуемом за тем исключением, что в дереве зависимостей ее нельзя отобразить, не нарушив принцип единственности синтаксического хозяина. К сожалению, Санников не приводит примеров таких структур, но если быть последовательным, то неизбежно приходим к СинтС на рис. 16. Ради сохранения принципа единственности хозяина из полученной СинтС можно было бы построить древесную СинтС с нулевым знаком и кореферентной ссылкой (рис. 17). Это, однако, искусственная трансформация (перифраз), коих, как было показано в [7], в общем случае может быть множество.

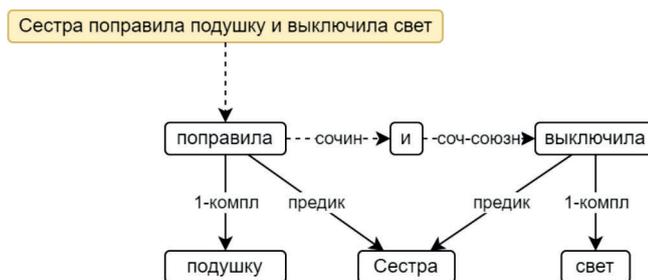


Рис. 16. СинтС для предложения с сочинением сказуемых
Fig. 16. The syntactic structure for compound predicates sharing subject



Рис. 17. Трансформированная СинтС для предложения с сочинением сказуемых
Fig. 17. Transformed syntactic structure for compound predicates sharing subject

Рассмотрим предложение «Мальчики и девочки играли и танцевали», в котором сочиняются как подлежащие, так и сказуемые. По аналогии со структурами на рис. 13 и 16 получаем направленный ациклический граф (рис. 18).

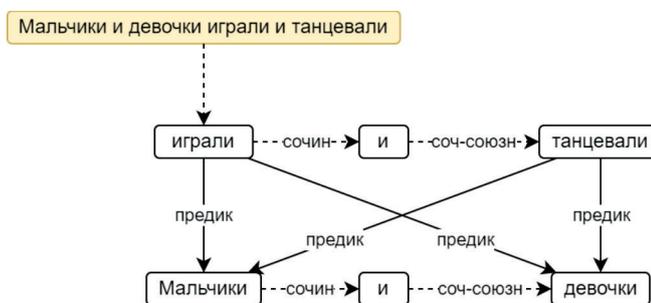


Рис. 18. СинтС с подчинением сочиненных подлежащих
сочиненным сказуемым

Fig. 18. The syntactic structure with compound subjects subordinated to compound verbs

С другой стороны, Шаляпина в [11] описывает явление контекстно-валентностного наследования, когда в результате сочинения валентность одного слова может насыщаться спутником другого слова (КВ-перенос). Введя две синтаксические группы и выполнив КВ-перенос актантной валентности предикатов на группу «играли и танцевали», а контрактантной валентности подлежащих на группу «мальчики и девочки», получаем ССГ на рис. 19. Заметим, что такой подход применим для предложения «Петя, Вася и Коля пошли гулять», но не применим для «Кто, что и кому говорил», так как в последнем примере актантные валентности различны.

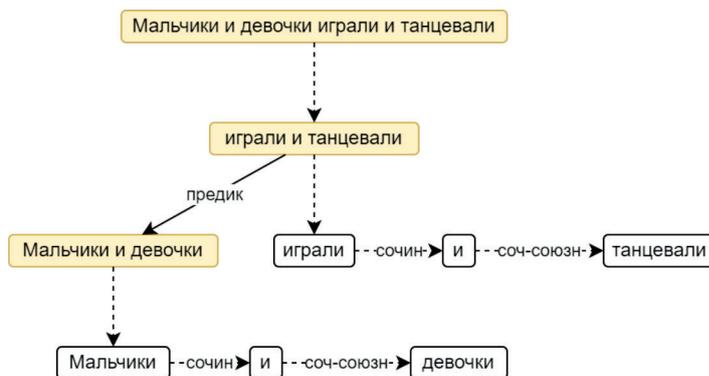


Рис. 19. ССГ с подчинением сочиненных подлежащих сочиненным сказуемым

Fig. 19. The system of syntactic groups with compound subjects subordinated to compound verbs

2.3. Сочинение простых предложений

На рис. 20 приведена СинтС сложносочиненного предложения, составленного из двух простых двусоставных: «Ваня окучивал картошку, а Миша поливал огурцы».

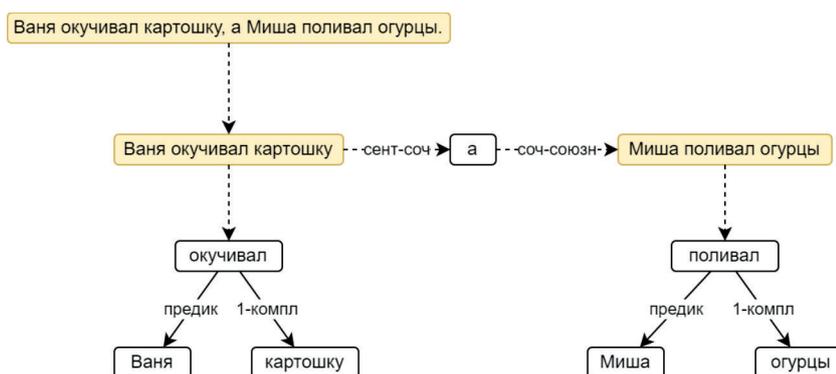


Рис. 20. СинтС для сложносочиненного предложения

Fig. 20. The syntactic structure for a compound sentence with independent clauses

Рассмотрим сложносочиненное предложение с общим второстепенным членом «Вечером подул сильный ветер и пошел снег». В [1] приводится ССГ, где обстоятельство перевешивается от предиката к сочинительной группе «подул сильный ветер и пошел снег» (рис. 21). Представ-

ляется возможным не вводить синтаксические группы, а подчинить обстоятельство напрямую обоим предикатам (рис. 22), как в случае общего подлежащего на рис. 16.

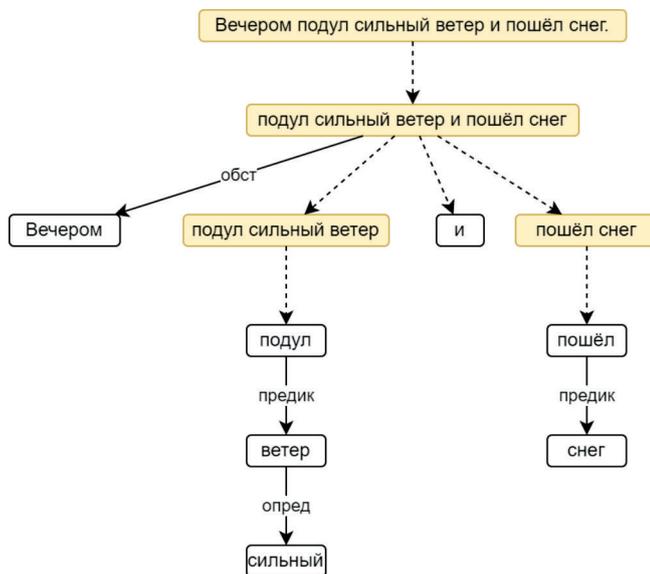


Рис. 21. ССГ для сложносочиненного предложения с общим обстоятельством
Fig. 21. A system of syntactic groups for a compound sentence with shared adverbial modifier

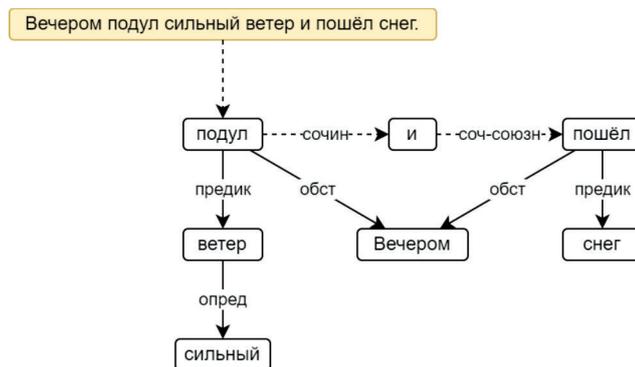


Рис. 22. СинтС для сложносочиненного предложения с общим обстоятельством

Fig. 22. The syntactic structure for a compound sentence with shared adverbial modifier

Рассмотрим предложение «Отремонтированы старые и построены новые столовые», для которого в [1] ССГ не построена вовсе. Здесь имеет место сочинение сочетаний предикатов с определениями. Причем субъекты предикатов соответствуют разным денотатам (на что указывают разные определения), но выражаются одним знаком «столовые», поэтому первый знак в результате сочинительного сокращения опускается. Прямолинейное установление зависимостей и сочинительных связей приводит к неправильным структурам, где могут пересекаться пути в деревьях подчинения или в сочинительных цепочках (например, рис. 23).

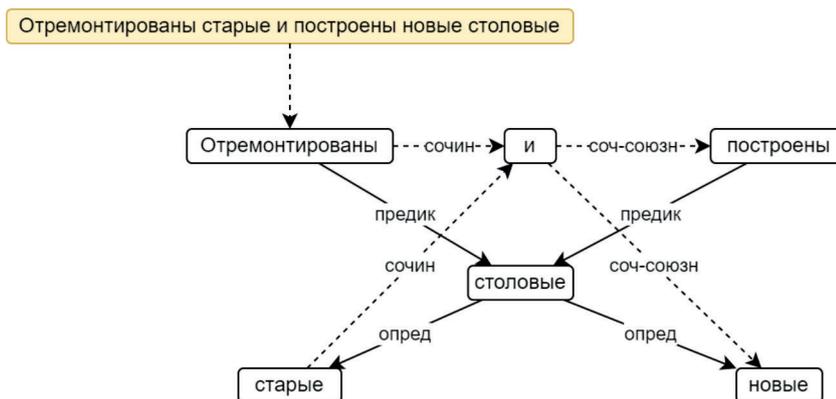


Рис. 23. Неправильная СинтС для предложения с сочинением сказуемых и определений

Fig. 23. Erroneous syntactic structure with compound verbs and compound adjectival modifiers

По Падучевой нарушения правильности структуры сигнализируют об эллипсисе, который выражается нулевым анафорическим знаком. В данном случае нулевой знак заполняет сильную валентность предиката в первом предложении и одновременно устраняет разрыв дерева зависимостей. На рис. 24 показана соответствующая СинтС с двумя сентенциально-сочиненными синтаксическими группами, где нулевой знак первой группы вступает в анафорическую связь со своим постседентом во второй группе.

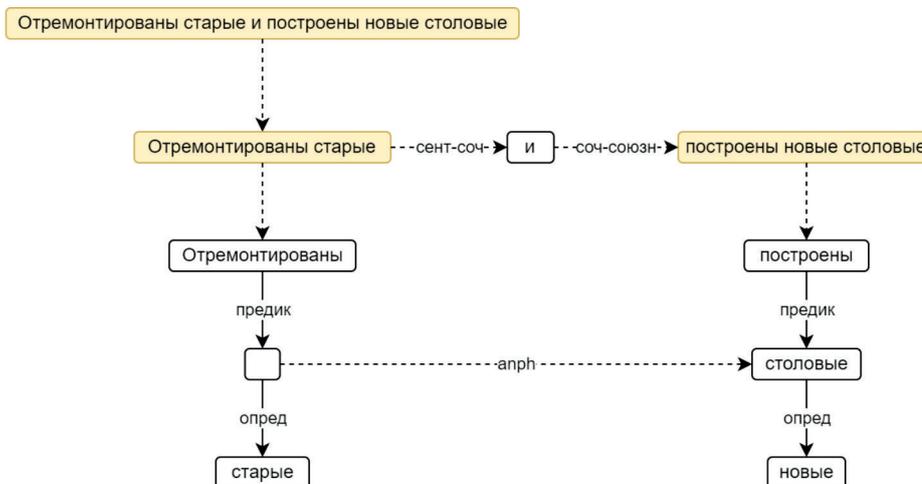


Рис. 24. СинтС для предложения с анафорическим эллипсисом подлежащего

Fig. 24. The syntactic structure with compound verbs and compound adjectival modifiers

Рассмотрим сложносочинённое предложение «Вчера он возил сено, сегодня дрова», для которого в [1] также не построена ССГ. Причиной тому вновь видится эллипсис: во втором предложении опущено как сказуемое, так и подлежащее. На рис. 25 предлагается синтаксическая структура с восстановленными главными членами.

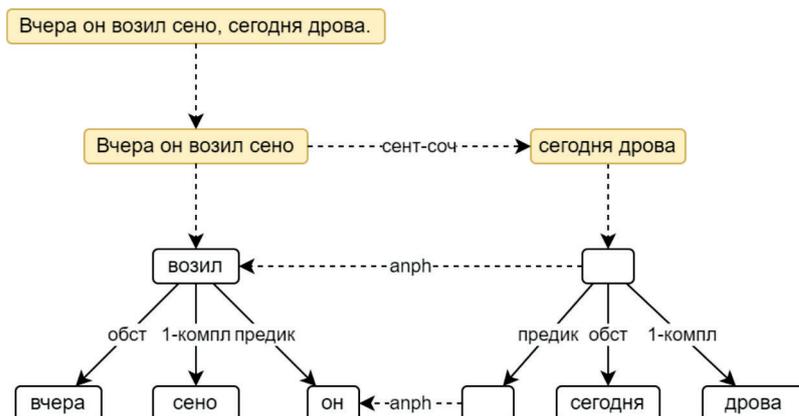


Рис. 25. СинтС для предложения с двойным эллипсисом

Fig. 25. The syntactic structure of a compound sentence with double ellipsis

3. Масштабы омонимии при автоматической обработке текста

3.1. Морфологическая омонимия

При морфологическом анализе для каждого токена выдвигаются гипотезы относительно лексем с соответствующими морфологическими признаками. В общем случае из-за омонимии может быть выдвинуто более одной гипотезы. Рассмотрим предложение «Первый рабочий за 1 час делает 32 детали». В нем 8 токенов без учета точки в конце предложения. В результате морфологического анализа средствами *rumorphy2* [12] на базе «Открытого корпуса»⁶ выдвигается 17 гипотез. Индекс омонимии, определяемый как отношение числа гипотез к числу токенов, для этого предложения составляет 2,125. На рис. 26 показаны все выдвинутые гипотезы. Для каждой гипотезы указан тип лексемы (часть речи) и ключевые морфологические признаки, а совпадающие морфологические признаки опущены. Снятие омонимии означает выбор единственного пути в графе омонимов. Для выбранного примера существует 60 возможных путей (декартово произведение количеств омонимов всех токенов), из которых в дальнейшем выбирается один.

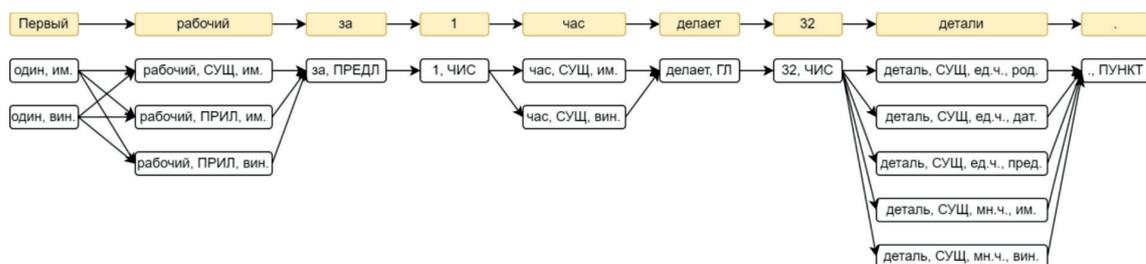


Рис. 26. Пути в графе омонимов для простого предложения

Fig. 26. Paths in homonyms graph for a simple sentence

Рассмотрим предложение «Евклид жил до н. э.». На 5 токенов, не считая пунктуацию, в «Открытом корпусе» находится 57 омонимов, что порождает 1872 возможные цепочки для всего предложения. При этом львиная доля омонимов приходится на сокращение «н»: прилагательные «наш», «нижний», «нормальный» со всеми комбинациями родов и падежей в ед. ч. и всеми падежами во мн. ч.; существительное «наука» и инициал «Н» во всех падежах;

⁶ <http://opencorpora.org/>

а для сокращения «э» получаем: «эра» во всех падежах в ед. и мн. числе, инициал «Э» во всех падежах и междометие. Для «жил» имеем глагол и существительное «жила» в род. п., мн. ч.

В приведенных примерах человек омонимию даже не заметит, но для автоматического снятия омонимии одних только синтаксических знаний достаточно не будет – потребуются еще и общие знания для выбора верной расшифровки сокращения «н. э.».

Кажется, что в более длинных предложениях проблема автоматического снятия омонимии еще больше усугубляется. Однако ситуация не так однозначна: корректная синтаксическая структура практически не оставляет места для морфологической омонимии, а в тех случаях, где все же остается вариативность, омонимия редко мешает пониманию предложения. В плане морфологии СинтС обычно воспринимается как однозначная, и по этой причине в СинтС не принято представлять морфологическую омонимию в явном виде. В классических работах по автоматической обработке текстов [4, 13] эксплуатируется идея о рассмотрении вариантов морфологического разбора при синтаксическом анализе с возвратами на морфологический уровень для выбора более подходящей цепочки омонимов. И так до тех пор, пока не будет выбрана лучшая цепочка и построена корректная СинтС.

Надо сказать, что до реформы русского языка в 1708 г. с морфологической омонимией эффективно боролись с помощью надстрочных знаков и дублетных букв полуустава. Так, для буквы *o* (он узкий) существовала парная буква *w* (омега), которую писали, чтобы расподобить падежи в одинаковых окончаниях прилагательных, местоимений, полных порядковых числительных и полных причастий (ед. ч. мужского и среднего родов) [14]: *сильнаго*, *бѣлаго*, *пѣлаго*, *возжелѣннаго* – род. падеж, но *сильнаго*, *бѣлаго*, *пѣлаго*, *возжелѣннаго* – вин. падеж. Это падежная омонимия.

Еще пример: *безмѣнно*, *жѣтко*, *нѣрѣдно* – наречия (как?), но *безмѣнно*, *жѣтко*, *нѣрѣдно* – краткие прилагательные среднего рода (каково?). Это частеречная омонимия.

Аналогично, у буквы *e* (есть узкий) была пара *ѣ* (есть широкий), используемая в окончаниях творительного падежа в качестве метки множественного числа: *дѣлательмѣ*, *моленіемѣ*, *пѣстыремѣ*, в отличие от единственного числа, где пишется «есть узкий» – *дѣлательмѣ*, *моленіемѣ*, *пѣстыремѣ*. Это числовая омонимия.

Помимо дублетных букв для снятия омонимии использовалось ударение. Например, в словах во множественном числе вместо острого или тупого ударения ставилось облегченное, если это слово было созвучно со словом в единственном числе. Например: «пути» (ед. ч., род. п., тупое ударение на последнем слоге) и «пути» (мн. ч, им. п., облегченное ударение).

После реформы Петра I и последующих реформ языка мы пользуемся гражданским алфавитом, который в нынешнем виде без подобных средств сохраняет омонимию во всем ее изобилии. Рассмотрим далее случаи, когда даже человеку не удастся полностью снять омонимию по объективным причинам, и омонимию целесообразно представлять в СинтС в явном виде.

3.2. Синтаксическая омонимия

В [1] А. В. Гладкий приводит классификацию синтаксической омонимии, где выделяет разметочную, стрелочную и конституентную омонимию. Проиллюстрируем их.

К разметочной омонимии относится морфологическая омонимия, рассмотренная выше, и омонимия поверхностно-синтаксических отношений в деревьях подчинения и ССГ. Например, случаи ошибочной разметки обстоятельственного отношения комплетивным и наоборот, или атрибутивного отношения агентивным и наоборот. Морфологическая омонимия часто является причиной омонимии на уровне стрелок, так как разметка стрелок выполняется на основании в том числе морфологической информации. Однако имеются примеры разметочной синтаксической омонимии, не связанные с морфологией. Так, в предложении «Я знаю только перевод Пушкина» подчинительную связь «перевод → Пушкина» можно интерпретировать как агентивную, и тогда Пушкин выполнил перевод, а можно как атрибутивную, и тогда речь

идет о переводе произведения Пушкина. Пешковский в [6] приводит пример конкуренции между предикативным и комплетивным отношениями: «Весло задело платье».

К стрелочной омонимии относятся случаи неоднозначного отнесения слова или группы к конкурирующим синтаксическим хозяевам. В примере Пешковского «вели ему помочь» [6] местоимение «ему» может быть как актантом предиката «вели», так и предиката «помочь». В примере А. В. Гладкого «Школьники из Старицы поехали в Торжок» [1] предложная группа «из Старицы» может быть подвешена как атрибут к существительному «школьники», так и в качестве обстоятельства к предикату «поехали».

К конституентной омонимии относятся случаи неоднозначного выделения однородных членов. Например, в предложении «пришли молодые учителя и врачи» [1] молодыми могут быть только учителя, а могут и учителя и врачи. Этим случаям соответствуют разные ССГ. Реформатский приводит пример «мальчики с девочками гуляли» [15], для которого можно построить две ССГ: один вариант с неразложимой группой в качестве подлежащего «мальчики с девочками», а второй вариант с предложной группой «с девочками», подвешенной к предикату в качестве дополнения. Также выделяется разновидность омонимии, связанной с неоднозначностью области действия одноместных операторов «только», «не», «нет» и др., например, «я вижу (только два) дерева» и «я вижу (только два дерева)».

Рассмотрим конституентную омонимию на примере проекта NLTK4Russian [16], в котором предлагается сочетание парсера категориальной контекстно-свободной грамматики (feature context-free grammar) из набора библиотек NLTK [3] с морфологическим анализатором `rumorphy2` [12] для русского языка. Статическая часть грамматики включает синтаксические правила с нетерминальными символами, а динамическая часть грамматики включает лексические правила, в которых слева нетерминалы с морфологической информацией, а справа терминалы, получаемые в результате морфологического разбора. В результате парсер порождает множество всех систем непосредственных составляющих, допустимых заданной грамматикой.

Для разбора предложения «Первый рабочий за 1 час делает 32 детали, а второй за 4 часа делает столько же деталей» нами была разработана экспериментальная формальная грамматика, включающая порядка 100 синтаксических правил. В результате для этого предложения было построено 1530 равноправных вариантов разбора. В частности, предложные группы могли присоединяться как к именным группам, так и к глагольным группам; определения и предложные группы могли присоединяться к именной группе в любом порядке. Отметим весьма жесткий принцип формальных грамматик «всё или ничего»: либо предложение допустимо, и тогда возвращаются все возможные синтаксические структуры, либо предложение недопустимо, и тогда не возвращается ничего.

3.3. Замечания о снятии омонимии

Были рассмотрены весьма короткие фразы. В реальных текстах предложения могут быть гораздо длиннее и содержать суперпозицию случаев омонимии, что приводит к лавинообразному росту количества вариантов морфологического и синтаксического разбора.

Детальное рассмотрение подходов к снятию омонимии выходит за рамки статьи, но можно выделить следующие подходы.

1. Ручное снятие омонимии для подготовки качественного информационного обеспечения (например, `СинТагРус`⁷, созданный лингвистами-профессионалами, или «Открытый корпус», создаваемый сообществом лингвистов-любителей).

2. Автоматическое снятие омонимии на основе подготовленного информационного обеспечения (тех же размеченных корпусов или толково-комбинаторных словарей, описывающих в том числе сочетаемость слов [4]).

3. Автоматическое снятие омонимии на основе алгоритмов, анализирующих в том числе сочетаемость слов, например, [17].

⁷ <https://ruscorpora.ru/new/search-syntax.html>

4. Представление омонимичных конструкций в синтаксической структуре предложения

4.1. Отношение несовместности

Расширим предложенную ранее графическую нотацию для выражения омонимии. Будем использовать n-местное отношение несовместности, которое будем отображать как вершину связи с пометой disjoint. Аргументами отношения несовместности могут быть как отдельные элементы СинтС (вершины и отношения), и тогда стрелки из вершины disjoint будут указывать на несовместные элементы, так и фрагменты СинтС, и тогда фрагменты окаймляются пунктирными прямоугольниками, на которые указывают стрелки из disjoint. Как будет показано далее, такая гибкость не является избыточной: в зависимости от ситуации СинтС более компактно представима при использовании того или иного варианта. Итак, в зависимости от ситуации будем использовать одну из двух возможностей:

- отношение несовместности связывает фрагменты СинтС;
- отношения несовместности связывают конкретные элементы СинтС.

Если проводить аналогию с формулами алгебры логики, то СинтС, построенная по первому способу, схожа с аддитивной нормальной формой логического выражения, а СинтС, построенная вторым способом, близка к минимальной форме логического выражения.

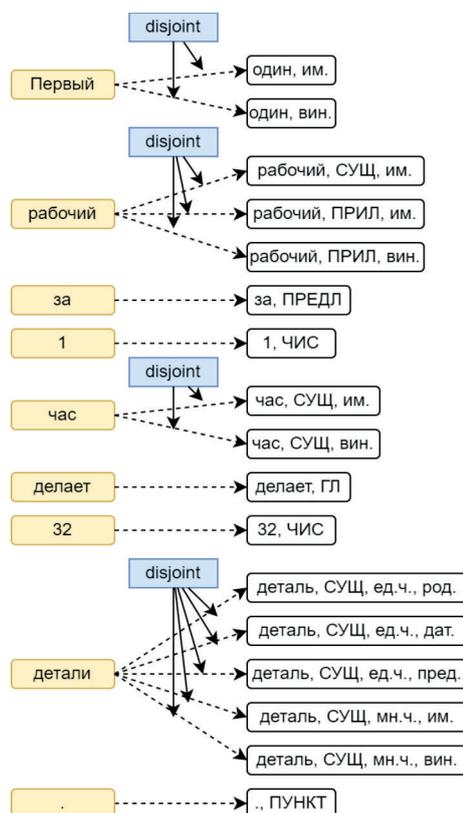


Рис. 27. Морфологическая структура предложения с неснятой омонимией

Fig. 27. Morphological structure of a sentence with homonymy

На рис. 27 приведена морфологическая структура с неснятой омонимией, соответствующая примеру на рис. 26, в предложенной графической нотации.

Между вхождениями слов (токенами исходного предложения) и вариантами их морфологического разбора (омонимами) устанавливается отношение соответствия. Если проводить

аналогию с ССГ, можно сказать, что токены являются тривиальными синтаксическими группами, а омонимы – их непосредственными составляющими. Для токенов, имеющих более одного омонима, используется отношение несовместности *disjoint*, указывающее, что только один из омонимов на самом деле составляет тривиальную группу-токен. Отображать здесь 60 вариантов полных структур с помощью *disjoint* было бы слишком нерационально.

Синтаксические отношения на рис. 27 не отображены, но графическая нотация это позволяет. Если связывать синтаксическими отношениями не токены, а конкретные омонимы, то можно явно показать разметочную омонимию на уровне морфологии, а также альтернативные синтаксические отношения. Вообще говоря, у каждого омонима свой набор синтаксических отношений, хотя эти наборы для омонимов одного токена могут пересекаться. Для иных видов омонимии омонимы неразличимы, поэтому их можно опускать и связывать синтаксическими отношениями сами токены. Невостребованные в конечной синтаксической структуре омонимы опускаются. При снятой морфологической омонимии каждому токеноу соответствует единственный омоним.

4.2. Представление омонимии в синтаксических структурах

На рис. 28 для предложения «Весло задело платье» приводится СинтС с неснятой разметочной омонимией, где отношение несовместности используется на уровне всей СинтС. Заметим, что генерация всех возможных структур производится, в частности, в пакете программных средств NLTK. На рис. 29 отношение несовместности связывает конкретные синтаксические отношения.

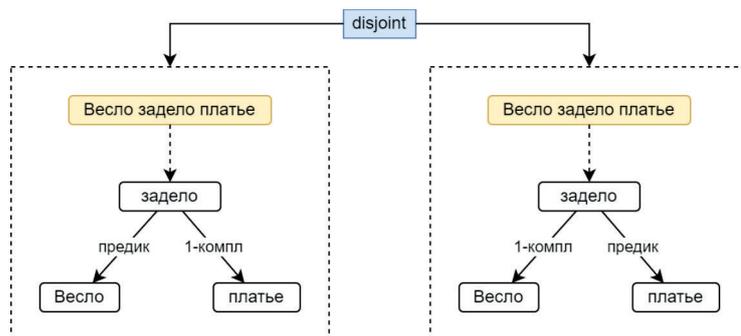


Рис. 28. Несовместные СинтС предложения с разметочной омонимией

Fig. 28. Disjoint syntactic structures of a sentence with labeled dependencies homonymy

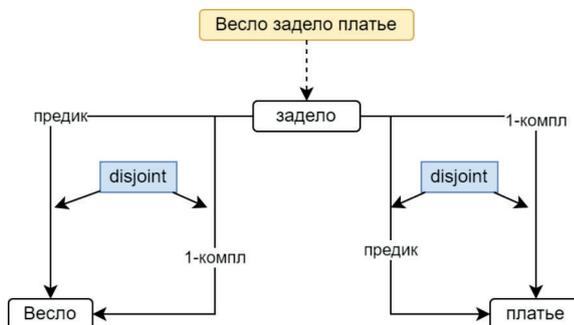


Рис. 29. СинтС предложения с разметочной омонимией

с отношением несовместности между синтаксическими отношениями
Fig. 29. The syntactic structure of a sentence with disjoint labeled dependencies

Отметим, что структура на рис. 29 включает две неверные интерпретации: с двумя подлежащими без дополнения и с двумя дополнениями без подлежащего. Однако на уровне внутреннего представления этот случай омонимии описывается единственным отношением несовместности конфликтующих фрагментов СинтС, раскрытие которого не порождает неверных вариантов:

```
disjoint (
  {предик (задело, весло), 1-компл (задело, платье)},
  {1-компл (задело, весло), предик (задело, платье)}
)
```

Рассмотрим предложение «Моих детей зовут Коля и Маша» из [4] с неснятой разметочной омонимией предикативного и второго комплетивного отношений. На рис. 30 и 31 приводятся эквивалентные варианты СинтС с равным количеством интерпретаций (по две).

Рассмотрим примеры неснятой стрелочной омонимии. На рис. 32 и 33 приводятся два варианта визуализации СинтС для предложения «Вели ему помочь» (два синтаксических хозяина у вершины «ему»), а на рис. 34 и 35 – для предложения «Школьники из Старицы поехали в Торжок» (два синтаксических хозяина у синтаксической группы «из Старицы»).

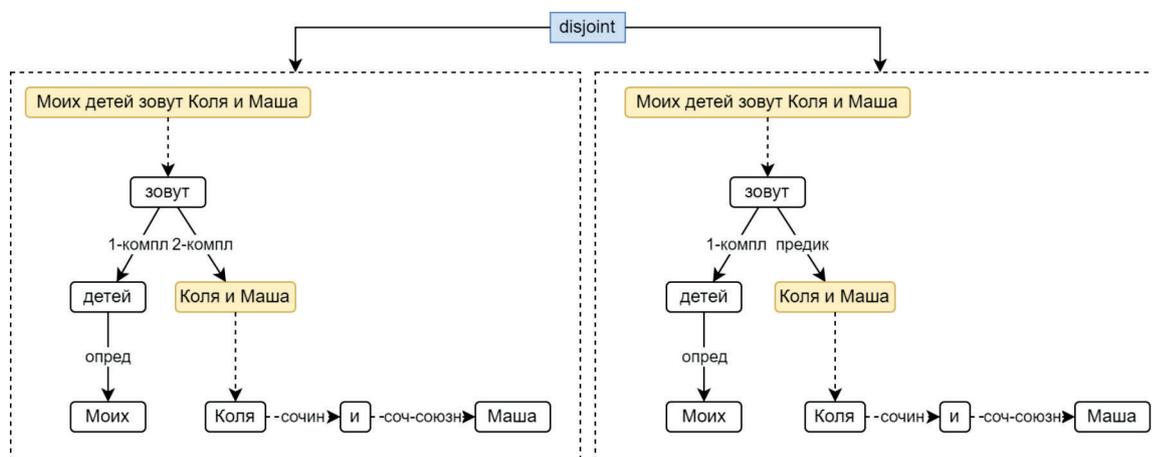


Рис. 30. Несовместные СинтС предложения с омонимией актантных отношений

Fig. 30. Disjoint syntactic structures of a sentence with nsubj and obj dependencies homonymy

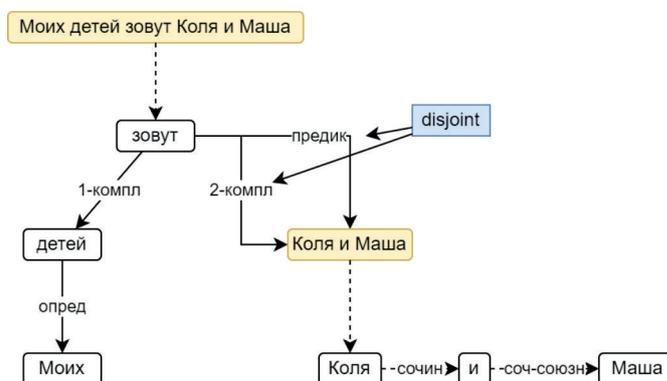


Рис. 31. СинтС предложения с несовместными актантных отношениями

Fig. 31. The syntactic structure of a sentence with disjoint nsubj and obj dependencies

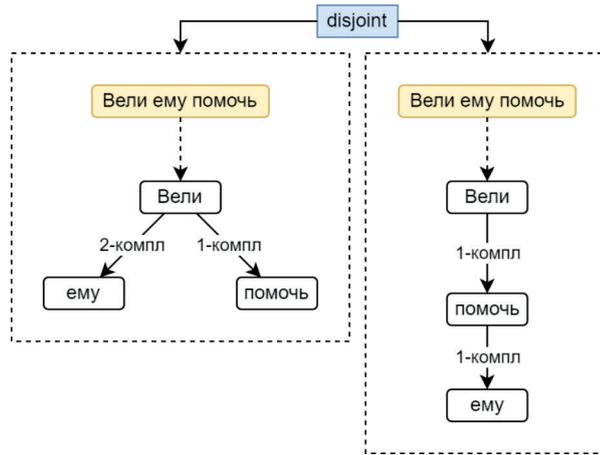


Рис. 32. Несовместные СинтС предложения со стрелочной омонимией
 Fig. 32. Disjoint syntactic structures with homonymy of arcs to object

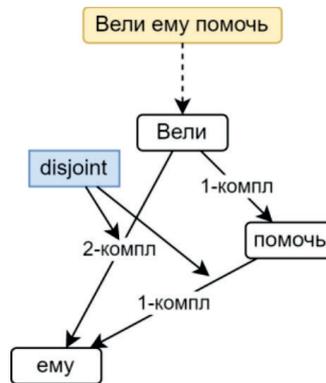


Рис. 33. СинтС предложения с несовместными входящими в дополнение дугами
 Fig. 33. The syntactic structure of a sentence with disjoint arcs to object

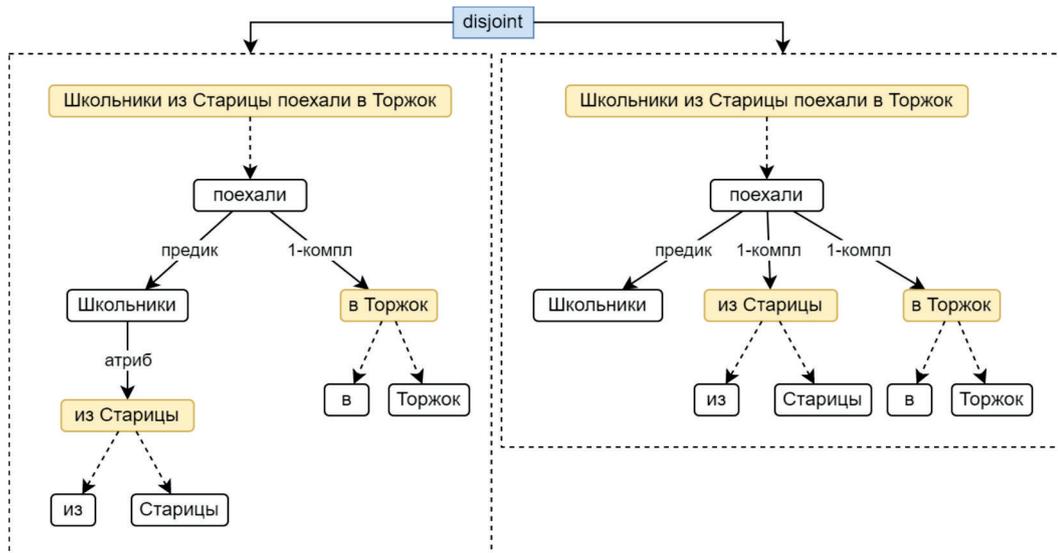


Рис. 34. Несовместные СинтС предложения со стрелочной омонимией у предложной группы
 Fig. 34. Disjoint syntactic structures with homonymy of arcs to a syntactic group

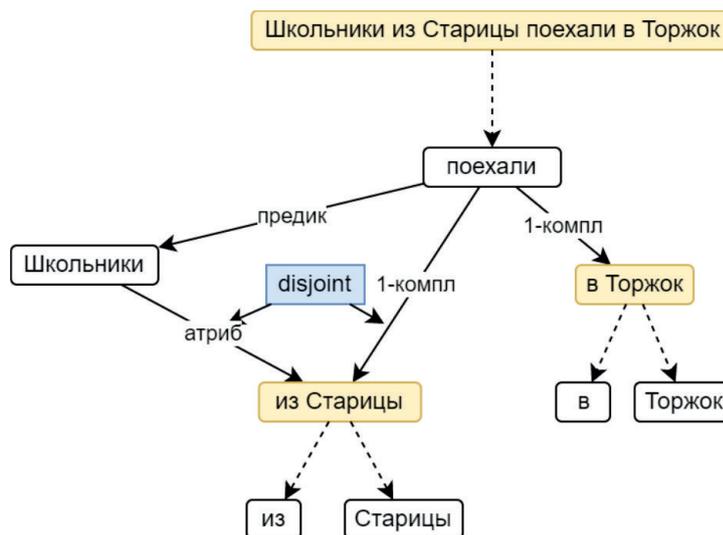


Рис. 35. СинтС предложения с несовместными входящими в предложную группу дугами

Fig. 35. The syntactic structure of a sentence with disjoint arcs to a syntactic group

Рассмотрим пример неснятой омонимии, характеризующейся различным направлением стрелок. На рис. 36 и 37 показана СинтС для предложения «Мы встретили больного врача Сидорова».

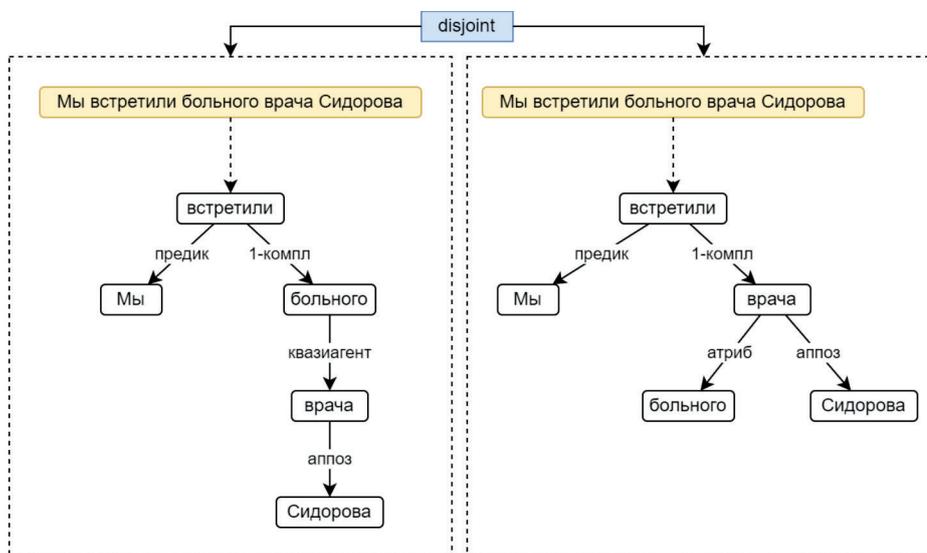


Рис. 36. Несовместные СинтС предложения с противонаправленными стрелками

Fig. 36. Disjoint syntactic structures with homonymy of counter-directional arcs

Как и на рис. 29 для предложения «Весло задело платье», в визуализации на рис. 37 из четырех возможных интерпретаций две корректны и две некорректны. Но, аналогично, омонимию здесь можно выразить единственным отношением несовместности для фрагментов СинтС, а два отношения было использовано лишь для наглядности.

ных фрагментов СинтС на локальном уровне здесь затруднена: на рис. 39 предложен весьма громоздкий вариант.

Однако и здесь описание омонимии сводится к единственному отношению несовместности конфликтующих подмножеств элементов СинтС:

```
disjoint(  
  {  
    учителя и врачи,  
    опред(учителя и врачи, молодые),  
    сочин(учителя, и)  
  },  
  {  
    молодые учителя и врачи,  
    молодые учителя,  
    сочин(молодые учителя, и),  
    опред(учителя, молодые)  
  }  
)
```

Нахождение наиболее простой формы визуализации омонимичных структур выходит за рамки статьи, но сама задача видится близкой к задаче минимизации формул алгебры логики.

Заключение

Показана недостаточность распространенных формализмов для представления СинтС с сочинительными связями. Рассмотрены разнообразные типы сочинительных конструкций. Предложен графический способ визуализации синтаксических структур, подходящий в том числе для систем составляющих, деревьев зависимостей, систем синтаксических групп. Предложены непротиворечивые варианты синтаксических структур с синтаксическими группами, отношениями подчинения и сочинения.

Описано отношение несовместности для представления морфологической и синтаксической омонимии. Продемонстрирована применимость предложенной графической нотации для визуализации морфологических и синтаксических структур с неснятой омонимией. Предложено два способа визуализации омонимичных структур. Первый способ позволяет выбирать между полными СинтС. Второй способ позволяет компактно представить омонимичную СинтС, но требует некоторых усилий по выбору альтернатив, связанных отношениями несовместности, прежде чем представить полный вариант СинтС без омонимии. Описана возможность эффективного представления омонимичных структур, пригодного для обработки на следующих этапах анализа и снятия омонимии с учетом контекста, семантики и прагматики.

Список литературы

1. **Гладкий А. В.** Синтаксические структуры естественного языка. Изд. 3-е, стереотип. М.: ЛЕНАНД, 2018. 152 с.
2. **Тестелец Я. Г.** Введение в общий синтаксис. М.: Изд-во РГГУ, 2001.
3. **Bird S., Klein E., Loper E.** Natural language processing with Python. O'Reilly, 2009. 504 p.
4. **Апресян Ю. Д., Богуславский И. М., Йомдин Л. Л. и др.** Лингвистический процессор для сложных информационных систем. М.: Наука, 1992. 256 с.

5. **Падучева Е. В.** О семантике синтаксиса: материалы к трансформационной грамматике русского языка. Изд. стереотип. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. 296 с.
6. **Пешковский А. М.** Русский синтаксис в научном освещении. 8-е изд., доп. М.: Языки славянской культуры, 2001. 544 с.
7. **Санников В. З.** Русский синтаксис в семантико-прагматическом пространстве. М.: Языки славянских культур, 2008. 624 с.
8. **Мельчук И. А.** Автоматический синтаксический анализ. Новосибирск, 1964. 364 с.
9. **Коротаев Н. А.** Синтаксические группы А. В. Гладкого: анализ конструкций с сочинением // Вестник РГГУ. Серия: Филологические науки. Языкознание / Московский лингвистический журнал. 2013. Т. 13. С. 16–36.
10. **Ружичка Р.** О полусвязочных (полузнаменательных) глаголах и подъеме подлежащего // Новое в зарубежной лингвистике. 1985. Вып. 15. Современная зарубежная русистика. С. 118–156.
11. **Шаляпина З. М.** Трехмерная стратификационная модель языка и его функционирования: к общей теории лингвистических моделей. М.: Вост. лит., 2007. 480 с.
12. **Korobov M.** Morphological Analyzer and Generator for Russian and Ukrainian Languages // Analysis of Images, Social Networks and Texts. 2015. P. 320–332.
13. **Попов Э. В.** Общение с ЭВМ на естественном языке. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. 360 с.
14. **Маршева Л. И.** Орфография церковнославянского языка. Теоретический очерк. 2-е изд. М.: Изд-во Сретенского монастыря, 2013. 56 с.
15. **Реформатский А. А.** Введение в языковедение: Учебник для вузов. 5-е изд., испр. М.: Аспект Пресс, 2004. 536 с.
16. **Москвина А. Д., Орлова Д., Паничева П. В., Митрофанова О. А.** Разработка ядра синтаксического анализатора для русского языка на основе библиотек NLTK // Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии: Тр. XIX Междунар. объедин. науч. конф. «Интернет и современное общество» / Санкт-Петербург, 22–24 июня 2016 г. СПб., 2016. С. 44–54.
17. **Артемов А. П., Мальковский М. Г.** Метод последовательных уточнений при разрешении синтаксической омонимии // Сборник научных трудов SWorld по материалам международной научно-практической конференции. 2013. Т. 6. № 3. С. 3–6.

References

1. **Gladkiy A. V.** Syntactic structures of natural language. Moscow, LENAND publ., 2018, 152 p. (in Russ.)
2. **Testelet Ya.G.** Introduction to general syntax. Moscow, RGGU Publishing House, 2001. (in Russ.)
3. **Bird S., Klein E., Loper E.** Natural language processing with Python. O'Reilly, 2009, 504 p.
4. **Apresyan Yu. D., Boguslavskiy I. M., Yomdin L. L et al.** Linguistic processor for complex information systems. Moscow, Nauka publ., 1992, 256 p. (in Russ.)
5. **Paducheva E. V.** On semantics of syntax: materials for transformational grammar of Russian language. Moscow, Knizhny dom "LIBROKOM", 2019, 296 p. (in Russ.)
6. **Peshkovskiy A. M.** Syntax of Russian in scientific coverage. Moscow, Yazyki slavyanskoj kultury, 2001, 544 p. (in Russ.)
7. **Sannikov V. Z.** Russian syntax in semantic-pragmatic space. Moscow, Yazyki slavyanskih kultur, 2008, 624 p. (in Russ.)
8. **Melchuk I. A.** Automatic syntactic analysis. Novosibirsk, 1964, 364 p. (in Russ.)

9. **Korotaev N. A.** Syntactic groups by A.V. Gladkiy: analysis of constructions with conjunction. *Vestnik RGGU. Series "Philological Sciences. Linguistics / Moscow Linguistic Journal"*, 2013, vol. 13, pp. 16–36. (in Russ.)
10. **Růzicka R.** Über "halbkopulative" Verben und Subjekthebung. "*Studien zum Verhältnis von Syntax und Semantik im modernen Russischen*", Akademie-Verlag, Berlin, 1980, S. 123–165.
11. **Shalyapina Z. M.** 3-dimensional stratification model of language and its functioning: to general theory of linguistic models. Moscow, Vost. Lit., 2007, 480 p. (in Russ.)
12. **Korobov M.** Morphological Analyzer and Generator for Russian and Ukrainian Languages. *Analysis of Images, Social Networks and Texts*, 2015. p. 320–332. (in Russ.)
13. **Popov E. V.** Communication with computer in natural language. Moscow, Nauka publ., 1982, 360 p. (in Russ.)
14. **Marsheva L. I.** The orthography of the Church Slavonic language. Theoretical essay. Moscow, Izdatelstvo Sretenskogo Monastyrya, 2013, 56 p. (in Russ.)
15. **Reformatskiy A. A.** Introduction to Linguistics. Moscow, Aspekt Press, 2004, 536 p. (in Russ.)
16. **Moskvina A. D., Orlova D., Panicheva P. V., Mitrofanova O. A.** Development of the Core for Syntactic Parser for Russian based on NLTK libraries. *Computer linguistics and computational ontologies. Proceedings of the XIX International Joint Science Conference "Internet and modern society"*, Saint Petersburg, June 22–24, 2016. P. 44–54. (in Russ.)
17. **Artemov A. P., Malkovskiy M. G.** Sequential adjustment method for syntactic disambiguation. *Proceedings of SWorld International Science Practical Conference*, 2013, vol. 6, no. 3, pp. 3–6. (in Russ.)

Информация об авторе

Дмитрий Витальевич Демидов, кандидат технических наук
Scopus Author ID: 57082581800
WoS Researcher ID: H-1339-2018

Information about the Author

Dmitry V. Demidov, Candidate of Sciences (Engineering)
Scopus Author ID: 57082581800
WoS Researcher ID: H-1339-2018

*Статья поступила в редакцию 20.09.2023;
одобрена после рецензирования 24.12.2023; принята к публикации 24.12.2023*

*The article was submitted 20.09.2023;
approved after reviewing 24.11.2023; accepted for publication 24.11.2023*

Научная статья

УДК 004.932.1

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-46-53

Разработка модуля предобработки изображений методом поиска в ширину для системы распознавания образов на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры

**Энес Ахмед Зюлфикар¹
Мурат Валерьевич Хажметов²
Кантемир Чамалович Бжихатлов³
Султан Ахмедович Канкулов⁴**

¹⁻⁴ Кабардино-Балкарский научный центр Российской Академии наук
Нальчик, Россия

¹ ahmedenes@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3633-4910>

² murathazhmetov@mail.ru

³ haosit13@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

⁴ skankulov@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается задача предварительной обработки изображения для дальнейшего распознавания образов за счет применения мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры. Решение данной задачи достигается использованием метода поиска в ширину (breadth-first search, BFS). Представлены алгоритмические описания метода сегментации и метода обработки изображения в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре. Проведены эксперименты по распознаванию объектов в сегментированном изображении на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры.

Ключевые слова

сегментация, мультиагентная нейрокогнитивная архитектура, метод обхода в ширину

Для цитирования

Энес А. З., Хажметов М. В., Бжихатлов К. Ч., Канкулов С. А. Разработка модуля предобработки изображений методом поиска в ширину для системы распознавания образов на основе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 4. С. 46–53. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-46-53

© Энес А. З., Хажметов М. В., Бжихатлов К. Ч., Канкулов С. А., 2023

ISSN 1818-7900 (Print). ISSN 2410-0420 (Online)

Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Том 21, № 4

Vestnik NSU. Series: Information Technologies, 2023, vol. 21, no. 4

Development of an Image Preprocessing by Bidth-Search Method for a Pattern Recognition System based on Multi-Agent Neurocognitive Architecture

Ahmed Zulfikar Enes¹, Murat V. Khazhmetov², Kantemir Ch. Bzhikhatlov³,
Sultan A. Kankulov⁴

¹⁻⁴ Kabardino-Balkarian Scientific Center of the
Russian Academy of Sciences, Russian Federation

¹ ahmedenes@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3633-4910>

² murathazhmetov@mail.ru

³ haosit13@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

⁴ skankulov@mail.ru

Abstract

In this paper, we consider the problem of image preprocessing for further pattern recognition through the use of a multi-agent neurocognitive architecture. The solution to this problem is achieved using the breadth-first search (BFS) method. The article presents algorithmic descriptions of the segmentation method and the image processing method in a multi-agent neurocognitive architecture. Experiments were carried out on object recognition in a segmented image based on a multi-agent neurocognitive architecture.

Keywords

segmentation, multi-agent neurocognitive architecture, breadth-first approach

For citation

Enes A. Z., Khazhmetov M. V., Bzhikhatlov K. Ch., Kankulov S. A. Development of an image preprocessing by vighth-search method for a pattern recognition system based on multi-agent neurocognitive architecture. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 46–53. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-46-53

Введение

Системы компьютерного зрения достаточно широко применяются в системах управления автономными мобильными роботами [1–4]. При этом стоит отметить, что основной метод интеллектуальной обработки данных основан на применении искусственных нейронных сетей [5; 6]. При этом применение нейронных сетей связано с рядом трудностей, в частности с необходимостью подготовки значительной обучающей выборки размеченных изображений. В данной работе рассматривается возможность применения систем принятия решений в задачах распознавания образов на основе мультиагентного нейрокогнитивного подхода. Редактор мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры представляет собой программный комплекс автоматизированного проектирования интеллектуальных систем принятия решений. Мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры представляют абстрактную модель самоорганизации мозга, предполагающую автоматическую интерпретацию объектов с использованием интеллектуальных агентов [7; 8]. Для реализации распознавания объектов необходима некоторая предварительная обработка кадра, которая позволит передать описание кадра в редактор. Для этого применяется сегментация изображения, т. е. разделение исходного изображения на составляющие его области. Задача сегментации заключается в изменении представления изображения для дальнейшей обработки в мультиагентной архитектуре.

Цель исследования – разработка модуля сегментации изображения для редактора мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры и оценка его применимости.

Задачи исследования:

- разработать программную реализацию сегментации изображения для редактора мультиагентных нейрокогнитивных архитектур;

- реализовать возможность обработки агентами сигнатур, полученных от модуля распознавания;
- экспериментально проверить возможность распознавания объекта с использованием мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры.

Алгоритм обработки изображения в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре

В рассматриваемой архитектуре системы принятия решений входящее изображение после предварительной обработки представляется набором сообщений для агентов-сенсоров (сигнатуры). Для формирования сигнатур необходим процесс предварительной обработки кадра, который заключается в выделении на изображении набора областей с одинаковым цветом (сегментация изображения). Это необходимо для того, чтобы отправить в систему принятия решений текстовое описание данных областей. Сегментация происходит за счет алгоритма поиска в ширину (breadth-first search), представляющего собой стратегию поиска решений в пространстве состояний, при которой сначала разворачивается корневой узел, затем – все преемники корневого узла, после этого разворачиваются преемники этих преемников и т. д. [9; 10]. Прежде чем происходит разворачивание каких-либо узлов на следующем уровне, разворачиваются все узлы на данной глубине в дереве поиска. В случае с растровым изображением узлом рассматривается каждый пиксель, а преемниками этого узла являются его соседние пиксели. Алгоритм начинает работу с первого пикселя. Вначале очередь содержит только корневой узел. На каждой итерации основного цикла из начала очереди извлекается пиксель и в конец добавляются соседние пиксели, которые нужно проверить. Пиксели не добавляются в очередь в том случае, если их цвет значительно отличается по цвету от корневого узла, либо они уже являются частью другой цветовой области. Когда очередь оказывается пустой, это означает, что поиск достиг тупика во всех направлениях (рис. 1).

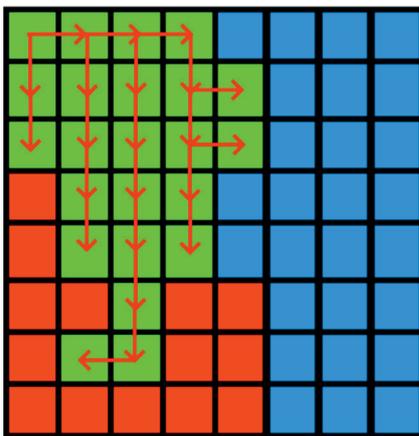


Рис. 1. Иллюстрация работы алгоритма поиска в ширину
Fig. 1. Illustration of work the breadth-first search Algorithm

Проанализированные пиксели добавляются в цветовую группу, следующий свободный пиксель назначается корневым и с него выполняется новый поиск. Алгоритм заканчивает работу, когда каждый пиксель изображения становится частью какой-либо цветовой группы. Затем формулируется текстовое описание каждой группы (области) в виде списка вершин и линий, описывающих область и среднего значения цвета области.

После отправки сообщений соответствующим агентам-сенсорам мультиагентной архитектуры запускается мультиагентный процесс обработки изображений, задачей участников которого является извлечение из входных потоков всех необходимых данных для формирования агентно-ориентированного описания объектов на изображении. При этом у каждого элемента архитектуры есть собственная целевая функция максимизации энергии, которую они получают от агентов других видов в обмен на информацию, которую они предоставляют этим агентам. Энергия расходуется агентами на поддержание жизнедеятельности и оплату своих обязательств перед другими агентами по контрактам. Такая система отвечает на возмущение внешней среды запуском процессов самоорганизации, в результате выполнения которых она стремится к некоторым аттракторам, интерпретируемым пользователями в терминах семантически значимых состояний интеллектуального агента.

Агенты создаются в процессе функционирования системы по требованию на основе входных потоков неструктурированных данных, генерируемых сенсорными системами интеллектуального агента. Для каждой сигнатуры имеется свой агент, отвечающий за обработку данных: сенсор областей, сенсор цвета (отдельно для R, G и B каналов), сенсор линий, сенсор длин, сенсор углов, сенсор координат X, сенсор координат Y и т. д. Схема работы алгоритма предварительной обработки изображений приведена на рис. 2.

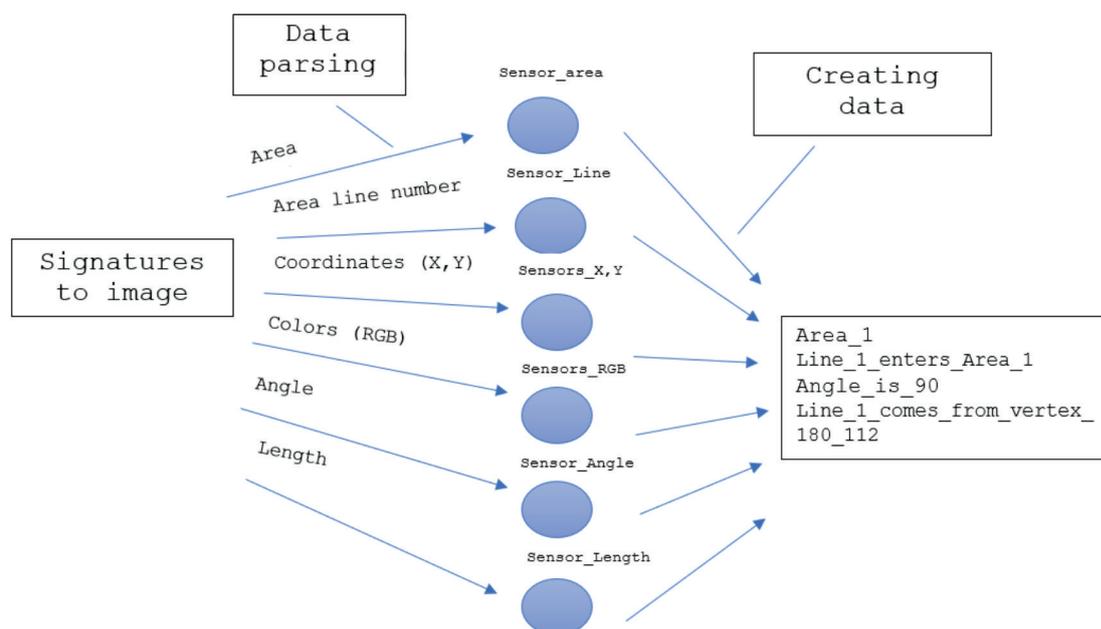


Рис. 2. Схема работы алгоритма обработки изображения в мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре

Fig. 2. Scheme of the image processing algorithm in a multi-agent neurocognitive architecture

Использование системы концептуальных агентов, порождаемых по требованию в ситуативно-обусловленном контексте, позволяет после соответствующего обучения распознавать входные события и строить их описание на основе мультиагентного представления некоторого факта об объектах реальной среды. В частности, в результате обработки сигнатуры появляется набор событий: «точка 1 принадлежит линии 1», «линия 1 принадлежит области 1» «область 1 состоит из 10 линий», «линия 1 соприкасается с линией 2 в точке 1 под углом 45» и т. д.

Экспериментальная оценка модуля сегментации

Реализация описанного алгоритма написана на языке программирования C++. Для отправки сигнатур в мультиагентную систему принятия решений использовался протокол TCP/IP. Сегментация выполняется в цветовом пространстве RGB. Затем, после того как границы областей определены, границы накладываются на исходное изображение. Вокруг каждой области строятся кривые линий. Для тестирования системы предварительной обработки в программу было загружено изображение кукурузы (рис. 3).



Рис. 3. Результат сегментации изображений

Fig. 3. The result of image segmentation

```
{
  "color":{"r":70,"g":125,"b":229},
  "border":[
    {"x":95,"y":22,"a":0.00,"l":1},
    {"x":96,"y":22,"a":90.00,"l":1},
    {"x":96,"y":23,"a":180.00,"l":1},
    {"x":95,"y":23,"a":-90.00,"l":1}
  ]
},
{
  "color":{"r":70,"g":124,"b":230},
  "border":[
    {"x":86,"y":23,"a":0.00,"l":1},
    {"x":87,"y":23,"a":90.00,"l":1},
    {"x":87,"y":24,"a":180.00,"l":1},
    {"x":86,"y":24,"a":-90.00,"l":1}
  ]
},
{
  "color":{"r":71,"g":124,"b":230},
  "border":[
    {"x":107,"y":23,"a":0.00,"l":1},
    {"x":108,"y":23,"a":90.00,"l":1},
    {"x":108,"y":24,"a":180.00,"l":1},
    {"x":107,"y":24,"a":-90.00,"l":1}
  ]
},
}
```

Рис. 4. Сигнатура с описанием областей

Fig. 4. Signature with a description of the areas

В результате сегментации фотографии выделено 6024 областей, состоящих из 42339 линий. На последующем этапе формируются сигнатуры с описанием всех обнаруженных областей, которые отправляются на обработку агентам мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры. Часть отправленной сигнатуры приведена на рис. 4. Она представляет собой текстовое описание (в формате json) областей и линий, входящих в эти области.

Сигнатуры, полученные при обработке, отправляются агентам, которые осуществляют распознавание областей в рамках когнитивной архитектуры. Далее агенты образуют между собой связи, содержащие все необходимые контракты для того, чтобы полностью решить задачи идентификации областей и их абсолютного и относительного пространственного местоположения. Скриншот редактора мультиагентных архитектур в процессе обработки сигнала с камеры приведен на рис 5.



Рис. 5. Скриншот редактора мультиагентных архитектур в процессе обработки изображения
Fig. 5. Screenshot of the multi-agent architecture editor during image processing

После генерации полного агентно-ориентированного описания объектов на изображении мультиагентная нейрокогнитивная архитектура выдает сведения о имеющихся в ее представлении и присутствующих на изображении объектах и их пространственных отношениях.

Заключение

В работе описан алгоритм предварительной обработки изображений по методу поиска в ширину. На его основе разработан модуль подготовки изображений для последующей обработки в системе принятия решений на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. В результате на изображении выделяются области одинакового цвета, а их описание отправляется в виде текстового описания структуры кадра. Кроме того, приведено описание процесса последующей обработки данных с кадра в системе принятия решений, в том числе процесс получения данных агентами-сенсорами и дальнейшая выделение мультиагентных фактов.

Экспериментально проверено, что мультиагентная нейрокогнитивная архитектура является эффективным формализмом для описания и распознавания семантики пространственной локализации объектов на изображении.

Список литературы

1. **DeSouza G. N., Kak A. C.** Vision for mobile robot navigation: A survey // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2002. Vol. 24, № 2. P. 237–267. DOI: 10.1109/34.982903
2. **Davison A. J., Reid I. D., Molton N. D., & Stasse O.** MonoSLAM: Real-time single camera SLAM // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2007. Vol. 29, no. 6. P. 1052–1067. DOI:10.1109/TPAMI.2007.1049
3. **Torralba A., Murphy K. P., Freeman W. T., & Rubin M. A.** Context-based vision system for place and object recognition // Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2003. P. 273–280. doi:10.1109/iccv.2003.1238354 Retrieved from www.scopus.com
4. **Se S., Lowe D., & Little J.** Mobile robot localization and mapping with uncertainty using scale-invariant visual landmarks // *International Journal of Robotics Research*. 2002. Vol. 21, no. 8. P. 735–758. DOI: 10.1177/027836402761412467
5. **Sze V., Chen Y., Yang T., Emer J. S.** Efficient Processing of Deep Neural Networks: A Tutorial and Survey // *Proceedings of the IEEE*. 2017. Vol. 105, no. 12. P. 2295–2329. DOI: 10.1109/JPROC.2017.2761740
6. **Тропченко А. А., Тропченко А. Ю.** Методы вторичной обработки и распознавания изображений: Учеб. пособие. СПб.: Ун-т ИТМО, 2015. С. 12–13.
7. **Нагоев З. В.** Интеллектика, или мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 213 с.
8. **Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.** Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // *Cognitive Systems Research*. 2021. Vol. 66. P. 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2020.10.015>
9. **Li H., Guo L., Wang Y., & Jiang J.** Grid pattern recognition in road networks using link graph // *Geomatics and Information Science of Wuhan University*. 2022. Vol. 47, no. 1. P. 126–132. DOI: 10.13203/j.whugis20190300
10. **Du Q., Emelianenko M., Ju L.,** Convergence of the Lloyd algorithm for computing centroidal Voronoi tessellations // *SIAM Journal on Numerical Analysis*. 2006. Vol. 44. P. 102–119. DOI: 10.1137/040617364

References

1. **DeSouza G. N., Kak A. C.** Vision for mobile robot navigation: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, vol. 24, № 2, pp. 237–267. DOI: 10.1109/34.982903
2. **Davison A. J., Reid I. D., Molton N. D., & Stasse O.** MonoSLAM: Real-time single camera SLAM. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2007, vol. 29, no. 6, pp. 1052–1067. DOI: 10.1109/TPAMI.2007.1049
3. **Torralba A., Murphy K. P., Freeman W. T., & Rubin M. A.** Context-based vision system for place and object recognition. *Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2003, pp. 273–280. DOI: 10.1109/iccv.2003.1238354 Retrieved from www.scopus.com
4. **Se S., Lowe D., & Little J.** Mobile robot localization and mapping with uncertainty using scale-invariant visual landmarks. *International Journal of Robotics Research*, 2002, vol. 21, no. 8, pp. 735–758. DOI: 10.1177/027836402761412467
5. **Sze V., Chen Y., Yang T., Emer J. S.** Efficient Processing of Deep Neural Networks: A Tutorial and Survey. *Proceedings of the IEEE*, 2017, vol. 105, no. 12, pp. 2295–2329. DOI: 10.1109/JPROC.2017.2761740

6. **Tropchenko A. A., Tropchenko A. Yu.** Methods of secondary processing and recognition of images. Textbook. St. Petersburg, ITMO University publ., 2015, pp. 12–13. (in Russ.)
7. **Nagoev Z. V.** Intelligence, or thinking in living and artificial systems [ntellektika, ili myshleniye v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh]. Nalchik, Publishing of KBSC RAS, 2013, 213 p. (in Russ.)
8. **Nagoev Z., Pshenokova I., Nagoeva O., Sundukov Z.** Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures. *Cognitive Systems Research*, 2021, vol. 66, pp. 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2020.10.015>
9. **Li H., Guo L., Wang Y., & Jiang J.** Grid pattern recognition in road networks using link graph. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, vol. 47, no. 1, pp. 126-132. DOI: 10.13203/j.whugis20190300
10. **Du Q., Emelianenko M., Ju L.** Convergence of the Lloyd algorithm for computing centroidal Voronoi tessellations. *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 2006, vol. 44, pp. 102–119. DOI: 10.1137/040617364

Информация об авторах

Ахмед Зюлфикар Энес, младший научный сотрудник

Мурат Валерьевич Хажметов, аспирант

Кантемир Чамалович Бжихатлов, кандидат физико-математических наук

Султан Ахмедович Канкулов, стажер-исследователь

Information about the Authors

Ahmed Zulfikar Enes, Junior Research Fellow

Murat V. Khazhmetov, Postgraduate Student

Kantemir Ch. Bzhikhatlov, Candidate of Physico-Mathematical Sciences

Sultan A. Kankulov, Trainee Researcher

Статья поступила в редакцию 20.07.2023;

одобрена после рецензирования 29.11.2023; принята к публикации 29.11.2023

The article was submitted 20.07.2023;

approved after reviewing 29.11.2023; accepted for publication 29.11.2023

Научная статья

УДК 681.518

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-54-70

Алгоритмы управления матричным складом на базе унифицированных транспортно-складских ячеек

Александр Владимирович Разумовский¹

Михаил Владимирович Сарамуд²

Яков Юрьевич Пикалов³

¹⁻³Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева
Красноярск, Россия

¹razumovskii.a.work@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2201-4211>

²msaramud@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0344-9842>

³yapibest@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7171-8154>

Аннотация

В статье рассматриваются принципы организации работы складских систем на базе унифицированных транспортно-складских ячеек. Описаны общие аппаратные особенности функционирования транспортно-складских ячеек, заключающиеся в обеспечении возможности перемещения хранимого в них груза между собой. Представлен метод построения графа склада, учитывающий возможные направления передачи контейнеров с грузом между транспортно-складскими ячейками, добавленных в структуру склада, а также их общие аппаратные особенности. Описаны ключевые критерии, учитываемые при определении весовых коэффициентов ребер графа: базовая стоимость перемещения для каждой оси, износ ячеек, масса груза, хрупкость груза, расстояние до ближайших свободных ячеек, ремонтпригодность. Представлены алгоритмы, основной задачей которых является определение порядка перемещений контейнеров между ячейками склада с целью выполнения загрузки и разгрузки склада. Проведено имитационное моделирование работы склада размерами $5 \times 5 \times 5$ с использованием предложенных алгоритмов с учетом и без учета параметров износа ячеек. В результате моделирования была определена значимость данного критерия, позволяющая увеличить интервалы обслуживания склада и максимизировать время до первого сбоя. Проведено исследование возможности оптимизации структуры подобного рода складских систем с учетом различных требований, в ходе которого осуществлена оптимизация структуры для склада размерами $4 \times 3 \times 3$.

Ключевые слова

алгоритм Дейкстры, многопараметрическая оптимизация, теория графов, автоматизированные складские системы

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (договор № FEFE-2020-0017).

Для цитирования

Разумовский А. В., Сарамуд М. В., Пикалов Я. Ю. Алгоритмы управления матричным складом на базе унифицированных транспортно-складских ячеек // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 4. С. 54–70. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-54-70

© Разумовский А. В., Сарамуд М. В., Пикалов Я. Ю., 2023

The Algorithms for Managing a Matrix-Based Warehouse Utilizing Standardized Transport and Storage Cells

Alexandre V. Razumovsky¹, Mikhail V. Saramud²,
Yakov Y. Pikalov³

¹⁻³M. F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies
Krasnoyarsk, Russian Federation

¹razumovskii.a.work@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-2201-4211>

²msaramud@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0344-9842>

³yapibest@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7171-8154>

Abstract

The article explores the principles of organizing warehouse systems based on standardized transport and storage cells. It discusses the general hardware features of transport and storage cells that enable the movement of stored goods between them. The article presents a method for constructing a warehouse graph that takes into account possible directions for transferring containers with cargo between the transport and storage cells integrated into the warehouse structure, along with their common hardware characteristics. Key criteria used in determining the edge weights of the graph are described, including the basic cost of movement for each axis, cell wear and tear, cargo weight, fragility of the cargo, distance to the nearest available cells, and reparability. Algorithms are presented, the primary task of which is to determine the sequence of container movements between warehouse cells to facilitate loading and unloading operations. Simulation modeling of a warehouse with dimensions of $5 \times 5 \times 5$ was conducted using the proposed algorithms, both with and without considering cell wear and tear parameters. The results of the simulation highlighted the significance of this criterion, allowing for extended warehouse servicing intervals and maximizing the time until the first failure. The study also investigates the possibility of optimizing the structure of such warehouse systems to meet various requirements. As part of this investigation, the structure was optimized for a warehouse with dimensions of $4 \times 3 \times 3$.

Keywords

Dijkstra's algorithm, multiparameter optimization, graph theory, automated warehouse systems

Funding

The work was carried out with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. FEFE-2020-0017).

For citation

Razumovsky A. V., Saramud M. V., Pikalov Y. Y. The algorithms for managing a matrix-based warehouse utilizing standardized transport and storage cells. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 54–70. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-54-70

Введение

Вопросы эффективности и оптимизации автоматизированных складских структур являются одними из наиболее обсуждаемых при организации их работы. Существует множество различных подходов, используемых при организации автоматизированных складских систем¹, особенности которых были рассмотрены авторами в статьях [1; 2]. Также существуют системы, которые используют комбинации различных подходов [3]. Однако подобного рода подходы не позволяют использовать максимум свободного пространства доступной области, в которой располагается автоматизированный склад. Наиболее близким аналогом по эффективности использования пространства является система хранения на основе пазлов [4], в которой грузы перемещаются небольшим количеством автономных мобильных роботов. Данные роботы могут свободно перемещаться под грузами, поднимать определенный груз и переносить его на соседнее свободное пространство. Однако роботы перемещают всю стопку с грузами, что является не очень энергоэффективным решением. Для повышения эффективности использования доступного пространства предложен подход формирования склада из унифицированных ячеек.

¹ Higginbotham Gary. 8 Types of Automated Storage and Retrieval Systems (ASRS): A Deep Dive. URL: <https://us.blog.kardex-remstar.com/types-of-automated-storage-and-retrieval-systems>

В качестве объекта управления в данной статье предлагается рассмотреть складские системы, построенные на базе унифицированных транспортно-складских ячеек, каждая из которых является местом хранения и оснащена механизмом для перемещения груза в одном из шести направлений. Ниже представлена транспортно-складская ячейка (рис. 1).

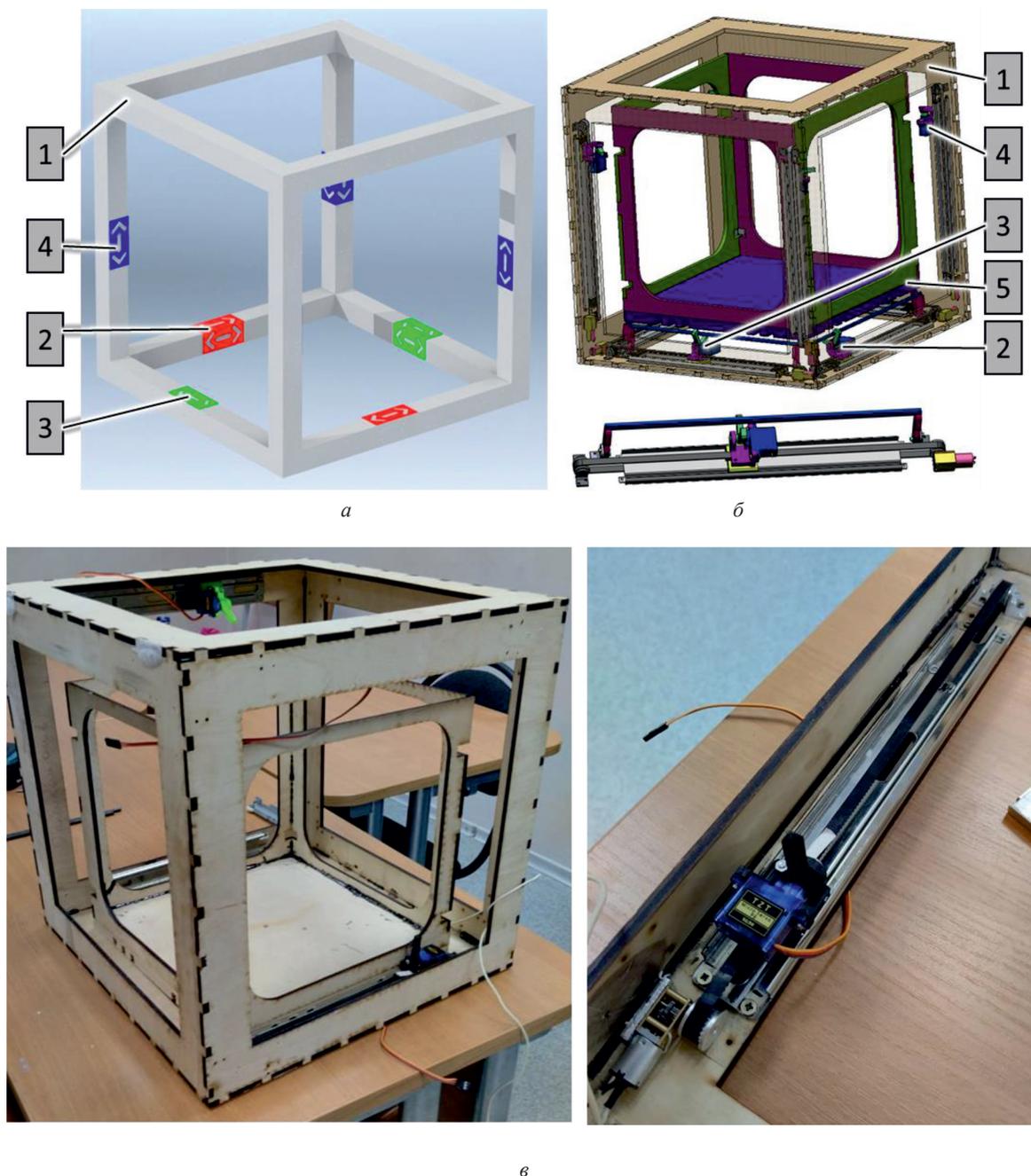


Рис. 1. Схема унифицированной транспортно-складской ячейки (а), 3D-модель конструкции (б) и экспериментальный макет (в)
 Fig. 1. Schematic representation of the standardized transport and storage cell (a), 3D model of the structure (b), and experimental prototype (c)

Ячейка состоит из неподвижного каркаса 1, в котором имеются устройства фиксации груза (на схеме не показаны), привода перемещения грузов 2, 3 и 4: вдоль осей X (2 шт.), Y (2 шт.),

Z (4 шт.), а также контейнер 5 с перемещаемым грузом. Приводы вдоль каждой из координатных осей работают синхронно и могут перемещать груз в одну из шести соседних ячеек (рис. 2).

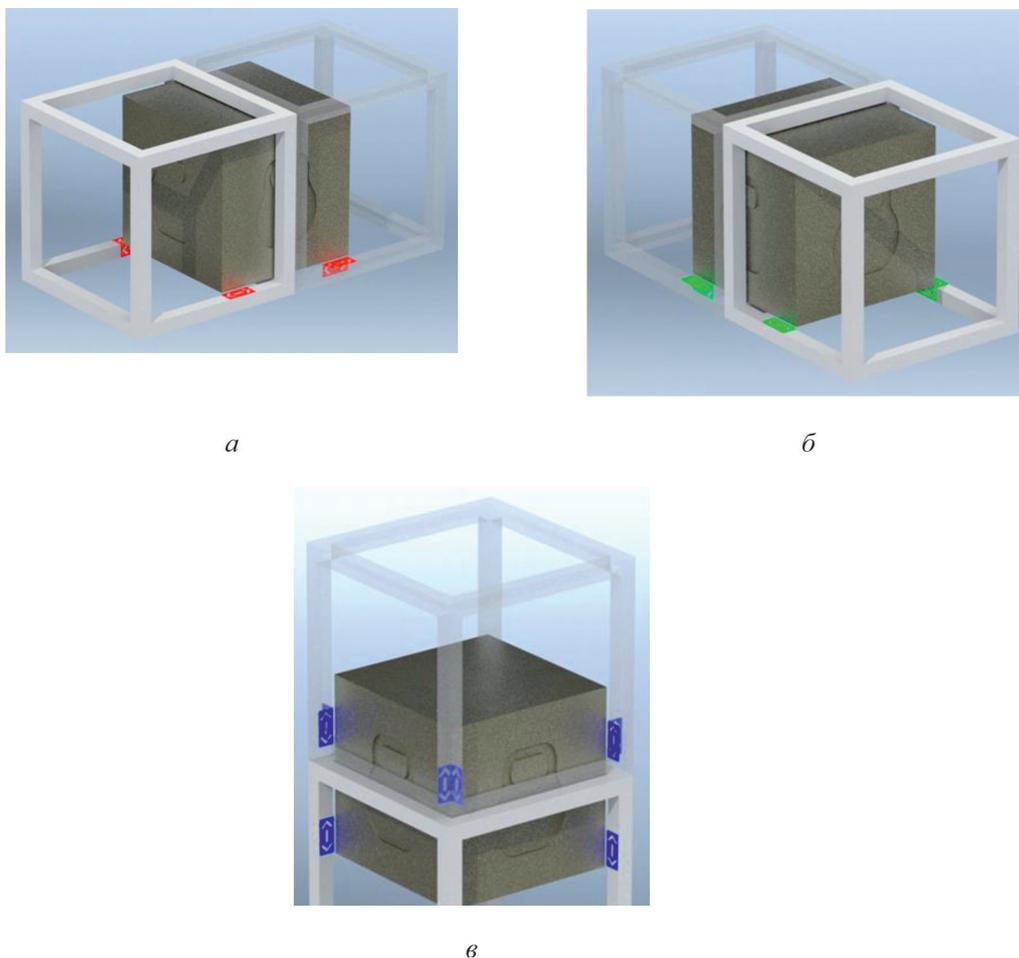


Рис. 2. Варианты перемещения грузов вдоль координатных осей:
перемещение вдоль Ox (а), Oy (б) и Oz (в)
Fig. 2. Options for cargo movement along coordinate axes:
movement along Ox (a), Oy (b), and Oz (v)

Пример обработки запроса в складской системе, построенной на базе таких ячеек, представлен на рис. 3. После того как в систему управления складом поступил запрос на выдачу груза (обозначенного на схеме красным цветом), груз последовательно перемещается из одной ячейки в другую, как показано белыми стрелками. На пути следования груза имеется синий контейнер, который преграждает путь к зоне выдачи, поэтому данный контейнер смещается в ближайшую свободную ячейку, после чего красный контейнер передается в зону выдачи. Общая идея алгоритмов, которые рассматриваются в данной работе, очень схожа с идеей, описанной в работах [5; 6], за тем отличием, что предлагаемые алгоритмы разрабатывались конкретно под предлагаемую структуру склада с возможностью работы во всех плоскостях.

Автоматизированные склады, находящиеся в различных сферах хозяйственной деятельности, могут существенно отличаться по ряду показателей (вместимость склада, размер складского помещения и хранящихся объектов, скорости выдачи / загрузки и т. д.). Так, на автома-

тизированном складе интернет-магазина мелкой цифровой техники необходимо обеспечить большую ротацию широкой номенклатуры товаров, при этом требования к скорости загрузки / выдачи товаров не слишком жесткие, в то время как на облачном хранилище вещей частота обновления объектов будет низкая, но требуется обеспечить высокую скорость загрузки-выгрузки крупногабаритных ячеек хранения. Таким образом, для этих двух случаев алгоритмы построения оптимальной структуры, а также путей загрузки и разгрузки будут различаться.

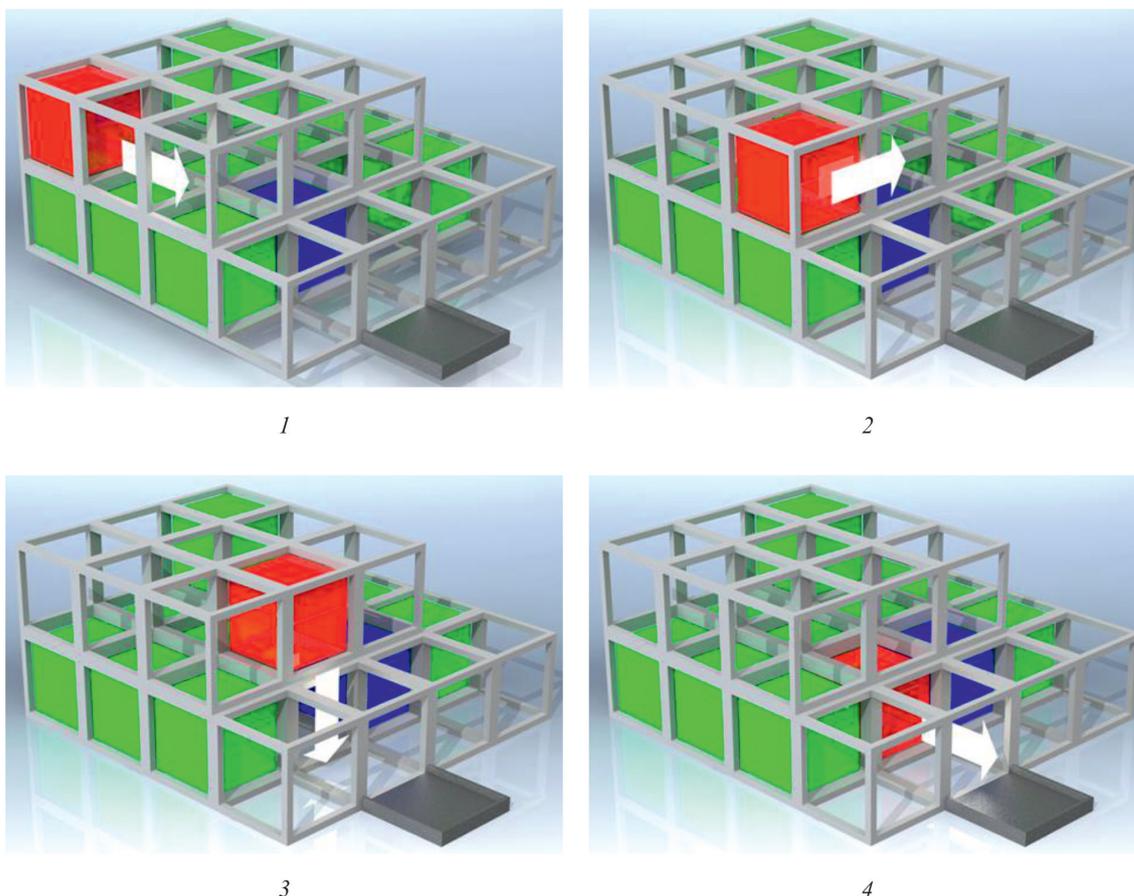


Рис. 3. Последовательность движений при перемещении груза в зону выдачи (1–4)
 Fig. 3. Sequence of movements during the cargo relocation to the issuing zone (1–4)

Для оптимизации данных алгоритмов можно выделить следующие параметры автоматизированного склада, которые можно подразделить на группы.

1. Параметры, связанные со складским помещением и характеристиками складских ячеек (его размерами, конфигурацией и т.д.):

1.1. Конфигурация склада (форма расположения ячеек). Любой склад считается параллелепипедом с фиксированным количеством ячеек по каждой из 3 декартовых координат. При этом каждая ячейка имеет свой трехмерный адрес. Для сложных конфигураций часть ячеек не может принимать и перемещать контейнер с грузом (например, в тех местах, где расположены несущие конструкции складского помещения или где организованы проходы).

1.2. Структура склада. Каждая из ячеек склада может иметь ограничения на перемещения вдоль некоторых координатных осей. Количество и расположение этих ячеек может быть оптимизировано и задано принудительно. Существуют следующие типы ячеек:

1.2.1. Отсутствующие ячейки – не могут перемещать или принимать груз. Они служат для обозначения в складском массиве, либо вышедших из строя ячеек, либо тех мест, где ячеек быть не должно ввиду конфигурации складского помещения.

1.2.2. Ячейки двунаправленного перемещения (X и Y , либо X и Z , либо Y и Z).

1.2.3. Ячейки трехнаправленного перемещения, которые могут осуществлять перемещение сразу по 3 координатам.

1.3. Энергозатраты перемещения груза в различных направлениях. Для перемещения груза в горизонтальном направлении ячейка задействует 2 привода, а для вертикального перемещения используются 4 привода. При этом подъем груза вверх сопряжен с большими затратами энергии в сравнении с опусканием того же груза вниз.

1.4. Расположение зоны выдачи и загрузки объектов:

1.4.1. Могут совпадать и не совпадать.

1.4.2. Выполнены в виде единичных ячеек, произвольно расположенных на гранях, либо в виде целых рядов или плоскостей.

1.4.3. Фиксированные либо изменяющие свое расположение.

1.5. Износ ячеек. Может быть подсчитан как количество перемещений вдоль каждой из осей.

1.6. Ремонтопригодность ячеек склада. Можно охарактеризовать доступностью для человека, т. е. ячейки, расположенные ближе к проходам на высоте человеческого роста, будут иметь наибольшую ремонтопригодность, а ячейки, находящиеся в глубине склада либо у стены, – наименьшую.

2. Параметры, связанные с характеристиками груза:

2.1. Масса перемещаемого груза. Чем тяжелее груз, тем меньше вероятность его перемещения.

2.2. Хрупкость груза – такие объекты, которые не желательно перемещать без необходимости.

2.3. Уникальность груза:

2.3.1. Каждый объект уникален и другого такого же на складе не будет. Например, характерно для облачного склада хранения вещей.

2.3.2. На складе присутствует (или может присутствовать) группа объектов, которые обладают практически схожими характеристиками, но могут отличаться, например, датой выпуска или версией. Это может учитываться при организации очереди выдаваемых со склада грузов.

2.3.3. На складе подразумевается наличие абсолютно одинаковых экземпляров груза. Соответственно, последовательность их выдачи значения не имеет.

2.4. Количество объектов, хранящихся в одном контейнере:

2.4.1. Один объект. Когда контейнер с грузом поступает на выдачу со склада, то на склад он больше не возвращается.

2.4.2. Несколько объектов. В этом случае после выдачи одного или нескольких объектов из контейнера он возвращается на склад до следующего запроса.

3. Параметры, связанные с режимом работы склада.

3.1. Количество загруженных ячеек.

3.2. Приоритетность задач загрузки-выгрузки объектов склада:

3.2.1. Время выгрузки объектов со склада может быть критически важным показателем, для обеспечения максимально быстрого реагирования на запрос пользователя (например, в off-line магазине или на складе вещей), в то время как время загрузки на склад – менее критичное значения так как можно организовать некоторую буферную зону для быстрого приема объектов хранения.

3.2.2. Время загрузки и выгрузки имеют одинаковую значимость. Данная ситуация характерна для автоматизированных складов, не взаимодействующих непосредственно с пользователем, а выполняющим свои функции внутри общей автоматизированной среды.

3.2.3. Время загрузки объектов на склад имеет больший приоритет по сравнению с выдачей. Соответствует случаю работы склада, например, в транспортной компании или off-line магазине в моменты прихода партии товара.

3.3. Частота обращений к складу. То есть количество загрузок и выгрузок в день:

3.3.1. Высокая частота – более 2000 объектов в день. Например, склад магазина.

3.3.2. Средняя частота – 200–2000 объектов в день. Например, склад автоматизированного производства.

3.3.3. Низкая частота – менее 200 объектов в день. Например, склад облачного хранилища вещей.

3.4. Приоритетность ротации объектов. Подразумевает наличие на складе закономерности между последовательностями поступающих и выдаваемых объектов:

3.4.1. First-In-First-Out (FIFO). Объекты, которые поступили первыми на склад, первыми поступают на выдачу. Например, в магазине продуктов, имеющих срок годности и при наличии одинаковых единиц товаров, выдавать следует те, которые поступили первыми.

3.4.2. Last-In-First-Out (LIFO). Объекты, которые поступили последними, первыми подлежат выдаче. Может применяться, например, для склада комплектующих в автоматизированном производстве.

3.4.3. Приоритетность отсутствует. Данная ситуация характерна для складов, в которых характерно произвольное поступление и выдача грузов (например, облачный склад хранения вещей).

3.5. Допустимое количество одновременных перемещений:

3.5.1. Без ограничения. Склад может осуществлять одновременные перемещения сразу нескольких ячеек, но требует более высоких затрат энергии для одновременного перемещения нескольких контейнеров.

3.5.2. Ограниченно. Количество максимальных синхронных перемещений ограничено (например, с точки зрения предельных потребляемых токов приводами перемещений).

3.5.3. Отсутствует. То есть все перемещения осуществляются последовательно (по одной ячейке).

Метод построения графа склада

Каждая ячейка склада характеризуется следующим рядом значений: координаты позиции ячейки в структуре склада, идентификатор ячейки и аппаратно допустимые направления передачи контейнеров груза данной ячейкой. Дополнительно в ходе работы склада также собирается информация о количестве совершенных передач контейнеров данной ячейкой в каждом направлении. Каждая ячейка также содержит информацию о своем содержимом – контейнере. Каждый контейнер в свою очередь имеет общую информацию для идентификации груза, а также такие характеристики, как хрупкость груза и его массу.

Для решения задачи перемещения контейнеров с грузами между ячейками структура склада представляется в виде направленного графа [7]. В данном графе вершины представляют собой ячейки склада с соответствующим идентификатором, а ребра – возможность передачи контейнера между соседними ячейками. Помимо этого, каждое ребро графа имеет весовой коэффициент, отражающий стоимость передачи контейнера с грузом в назначенном направлении.

Обновление связей между вершинами осуществляется при добавлении новой ячейки в объект склада. Относительно добавляемой на склад ячейки осуществляется проверка наличия ячейки в направлениях, в которых добавляемая ячейка способна осуществлять передачу груза. Передача между ячейками возможна в случае, если добавляемая ячейка (A) и проверяемая ячейка (B) могут передавать груз в направлениях от A в B и от B в A .

Принцип вычисления весовых коэффициентов, назначаемым ребрам графа, удобней всего рассмотреть между двумя соседними ячейками A и B , соединенными ребром. При этом предполагается перемещение груза из ячейки A в B . Тогда для данного ребра весовой коэффициент вычисляется по следующей общей формуле:

$$W_{AB} = \sum_{i=1}^N w_i * C_i,$$

где W_{AB} – общая стоимость перемещения по данному ребру, w_i – значимость i -го фактора; C_i – числовое значение, отражающее i -й фактор; N – общее количество факторов.

В предложенной модели учитываются следующие факторы, влияющие на общую стоимость перемещения по каждому ребру графа:

1. Базовая стоимость перемещения C_1 . Задается в параметрах склада. В зависимости от направления передачи контейнера устанавливаются разные базовые стоимости его перемещения:

1.1 В горизонтальном направлении: $C_1 = 1$.

1.2. В вертикальном направлении вверх: $C_1 = 2$ (так как задействовано в 2 раза больше приводом по сравнению с горизонтальным перемещением).

1.3. В вертикальном направлении вниз: $C_1 = 1,5$ (меньше на 0,5, так как при движении вниз меньше нагрузка).

2. Износ ячеек C_2 :

$$C_2 = \frac{\max(\text{move}_A, \text{move}_B)}{\text{move}_{lim}},$$

где move_A и move_B – количество перемещений контейнеров в ячейке A и B (соответственно) вдоль направления $A-B$ за все время; move_{lim} – максимальное допустимое количество перемещений грузов для ячеек в направлении $A-B$.

3. Масса груза в контейнере ячейки C_3 . Параметр может иметь значение в диапазоне $(0; 1]$, где верхнее значение – максимально возможная масса груза.

4. Относительная хрупкость груза в контейнере ячейки C_4 . Параметр может иметь значение в диапазоне $[0; 1]$.

5. Среднее расстояние до ближайших свободных ячеек C_5 . При вычислении его значения определяется среднее среди минимальных расстояний до N_E ближайших пустых ячеек:

$$C_5 = \frac{1}{N_E} \sum_{i=1}^{N_E} \min_steps_j,$$

где \min_steps – список минимальных расстояний до ближайших N_E свободных ячеек относительно ячейки B .

6. Ремонтпригодность C_6 . Характеризуется доступностью для замены обслуживающим персоналом. Так, наиболее ремонтпригодными считаются ячейки, расположенные на внешних вертикальных стенках складского массива.

На рис. 4 представлена визуализация графа склада размерами $5 \times 4 \times 3$.

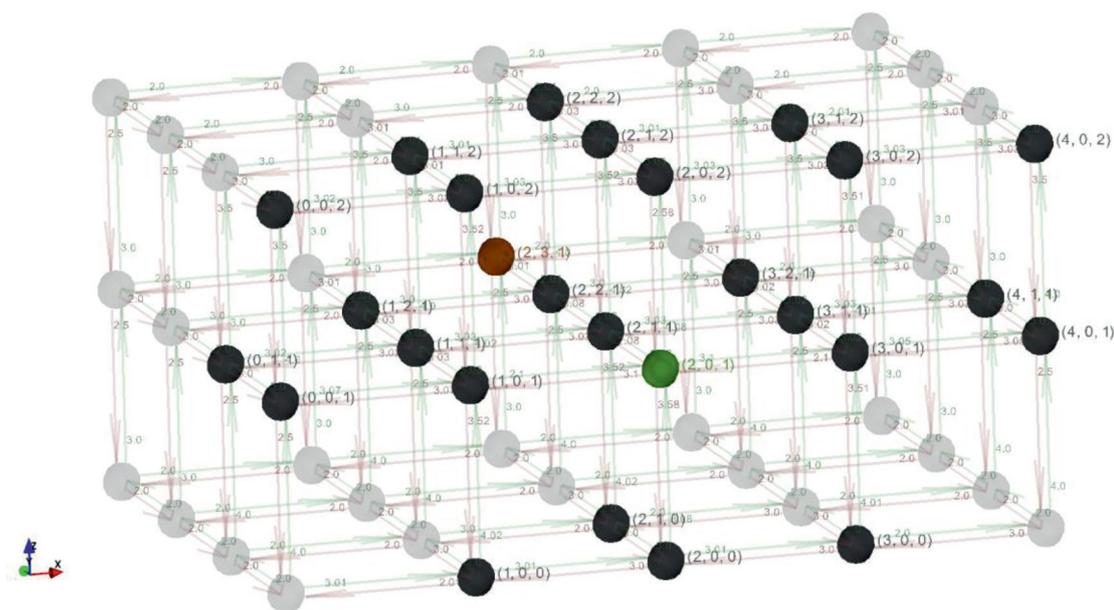


Рис. 4. Визуализация 3D-графа складского массива
Fig. 4. Visualization of the 3D graph of the warehouse array

На представленном изображении вершины склада имеют разную цветовую идентификацию в зависимости от состояния и/или назначения:

1. Зеленые вершины соответствуют ячейкам, назначенным в качестве пунктов загрузки контейнеров в склад.
2. Красные вершины соответствуют ячейкам, назначенным в качестве пунктов выгрузки контейнеров со склада.
3. Темно-серые вершины соответствуют ячейкам, в которых имеется контейнер с грузом.
4. Полупрозрачные вершины соответствуют свободным ячейкам склада.

Алгоритм загрузки склада

При описании алгоритма работы склада использовалась следующая терминология. Путь – упорядоченный список действий (шагов), которые представляют собой тройки значений: координаты ячейки, соответствующие начальной позиции контейнера; координаты целевой ячейки; стоимость (вес) перемещения. Для расчетов путей перемещения контейнеров в процессах загрузки и разгрузки реализовано два алгоритма соответственно. В основе данных алгоритмов лежит алгоритм Дейкстры [8], основанный на фибоначиевой куче [9], используемый для определения оптимального пути в графах². Оптимальность определяется на основе рассчитанных весовых коэффициентов ребер графа. Оптимальная целевая ячейка – ячейка, в которой общая стоимость перемещения контейнера, следуя найденному пути, минимальна.

Алгоритм загрузки склада реализован следующим образом:

1. Из процесса поиска пути исключаются вершины графа, соответствующие ячейкам, назначенным для загрузки контейнеров на склад, кроме ячейки, из которой в данный момент осуществляется загрузка.

² SciPy documentation. `scipy.sparse.csgraph.dijkstra` – SciPy v1.11.2 Manual. URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.sparse.csgraph.dijkstra.html>

2. Осуществляется поиск пути для контейнера из ячейки загрузки в оптимальную ячейку склада на основе алгоритма Дейкстры.

3. Осуществляется проверка перемещения груза, последовательно следуя шагам найденного пути до тех пор, пока не будет встречен шаг, на котором целевая ячейка перемещения контейнера будет загружена.

4. Порядок последовательности данного и оставшихся шагов пути меняется в обратную сторону.

Следуя путям перемещения, получаемым данным алгоритмом, помещаемые на склад контейнеры распределяются в первую очередь по наиболее оптимальным ячейкам, после чего последовательно продвигаются глубже в склад. На рис. 5 представлен пример изменения при загрузке контейнера на склад.

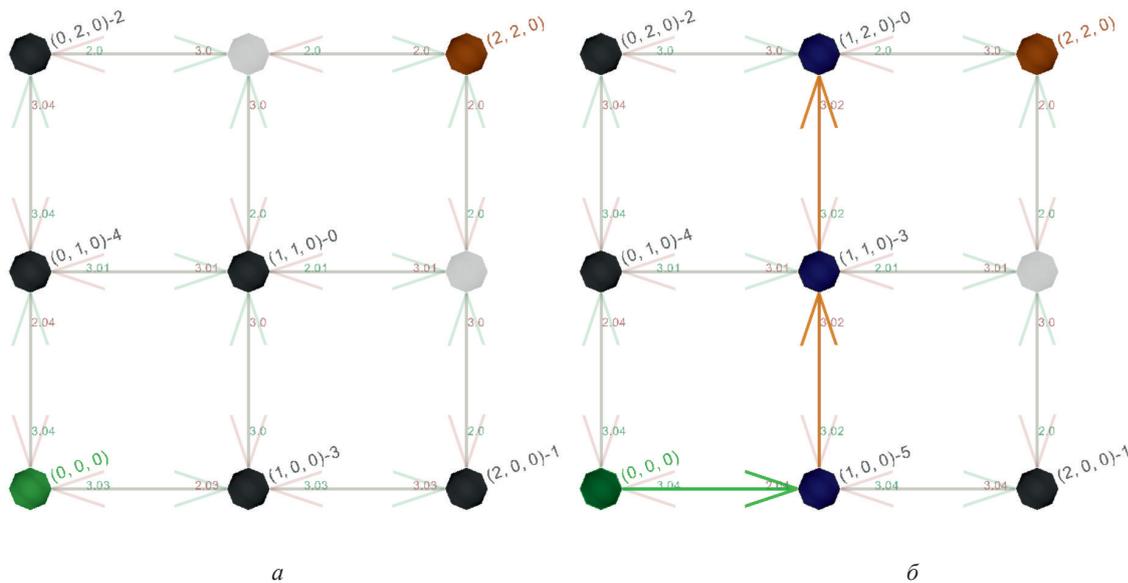


Рис. 5. Пример помещения контейнера на склад:
 а – исходное состояние склада; б – конечное состояние склада
 Fig. 5. Example of container placement in the warehouse:
 а – initial state of the warehouse; б – final state of the warehouse

Темно-синим цветом обозначены ячейки, задействованные в процессе перемещения контейнеров и являются занятыми на момент окончания перемещений. Зеленые стрелочки визуализируют основной маршрут перемещения запрашиваемого контейнера, а оранжевые – маршруты освобождения занятых ячеек. Числовые значения, отображаемые справа от координат ячейки, отображают идентификатор контейнера груза.

Алгоритм разгрузки склада

Алгоритм разгрузки склада реализован по более сложному механизму, который можно описать следующей последовательностью основных действий:

1. Из процесса поиска пути исключаются вершины графа, соответствующие ячейкам, назначенным для загрузки контейнеров на склад.

2. Осуществляется поиск пути для контейнера из ячейки с требуемым контейнером в ячейку разгрузки склада на основе алгоритма Дейкстры.

3. Осуществляется проверка перемещения груза, последовательно следуя шагам найденного пути до тех пор, пока не будет встречен шаг, на котором целевая ячейка перемещения контейнера будет загружена.

4. Осуществляется поиск пути для разгрузки целевой ячейки на рассматриваемом шаге в оптимальную свободную ячейку на основе алгоритма Дейкстры.

5. Порядок последовательности шагов пути разгрузки ячейки меняется в обратную сторону.

6. Полученная последовательность шагов помещается перед шагом основного пути, на котором потребовалась разгрузка целевой ячейки.

7. Повторение шагов 3–7 для оставшихся шагов основного пути.

Получаемая в ходе данного алгоритма последовательность шагов позволяет перемещать контейнер из запрашиваемой ячейки, освобождая занятые на пути ячейки. На следующем изображении (рис. 6) представлена визуализация примера найденного маршрута разгрузки ячейки в позиции $(0, 1, 0)$ в ячейку $(2, 2, 0)$ в полностью загруженном складе (кроме ячеек загрузки и выгрузки).

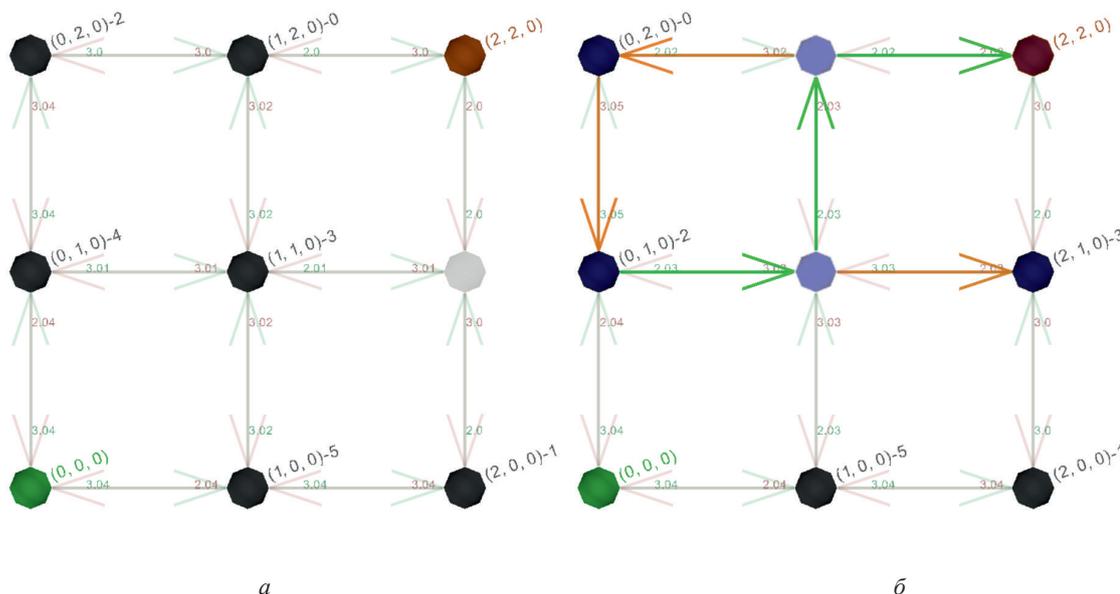


Рис. 6. Пример визуализации пути разгрузки:
 а – исходное состояние склада; б – конечное состояние склада
 Fig. 6. Example of unloading path visualization:
 а – initial state of the warehouse; б – final state of the warehouse

Голубым цветом обозначены ячейки, задействованные в процессе перемещения контейнеров и являются свободными на момент окончания перемещений.

Данное изображение визуализирует порядок действий, представленный в табл. 1.

Важно отметить, что для корректного функционирования представленных алгоритмов необходимо наличие как минимум одной свободной ячейки без учета входных и выходных ячеек.

Таблица 1

Пример порядка действий разгрузки склада

Table 1

Example of Unloading Warehouse Procedure Steps

№ шага	Цель перемещения	Позиция начальной ячейки	Позиция целевой ячейки	Стоимость перемещения
1	Освобождение пути	(1, 1, 0)	(2, 1, 0)	3,509999
2	Перемещение целевого контейнера	(0, 1, 0)	(1, 1, 0)	3,343333
3	Освобождение пути	(0, 2, 0)	(0, 1, 0)	3,289999
4	Освобождение пути	(1, 2, 0)	(0, 2, 0)	3,500000
5	Перемещение целевого контейнера	(1, 1, 0)	(1, 2, 0)	3,186666
6	Перемещение целевого контейнера	(1, 2, 0)	(2, 2, 0)	3,333333

Влияние учета показателей износа ячеек на работу алгоритмов склада

Изучалось влияние учитываемых факторов при вычислении весовых коэффициентов графа склада на специфику функционирования склада. В частности, исследовалось влияние коэффициента износа ячеек на общий график обслуживания склада.

Опытная конфигурация склада представляет собой массив ячеек $5 \times 5 \times 5$, сгруппированных в форме параллелепипеда. Сами ячейки способны передавать груз во всех направлениях. Максимальное количество перемещений для каждой ячейки выставлено в 1000 действий для каждой оси. Входная ячейка склада расположена в позиции (2, 0, 2), выходная ячейка склада – в позиции (2, 4, 2).

Параметры значимости критериев (w) были установлены к следующим значениям:

1. Базовая стоимость перемещения: 1,0.
2. Масса груза в контейнере: 1,0.
3. Хрупкость груза в контейнере: 1,0.
4. Среднее расстояние до ближайших свободных ячеек: 0,5.
5. Ремонтопригодность: 1,0.

Значимость критерия износа для двух этапов тестирования равнялась 0,0 и 300,0 соответственно.

Тестирование произведено на предварительно заполненном складе на 50 %. После заполнения склада произведено 1000 итераций разгрузки случайного груза и загрузки нового. На рис. 7 представлена визуализация результатов тестирования, демонстрирующая влияние учета параметра износа ячеек на общий износ склада в ходе эксплуатации.

Цветовая индикация и числовое значение справа от координат ячеек отображают максимальный износ ячейки по всем осям.

Исходя из представленных результатов, учет износа ячеек позволяет более равномерно задействовать механизмы ячеек склада, что в свою очередь потенциально позволяет продлить интервал между обслуживаниями склада и максимизировать время до первого сбоя ячеек. Данная особенность заметно проявляется при повышенной загруженности склада.

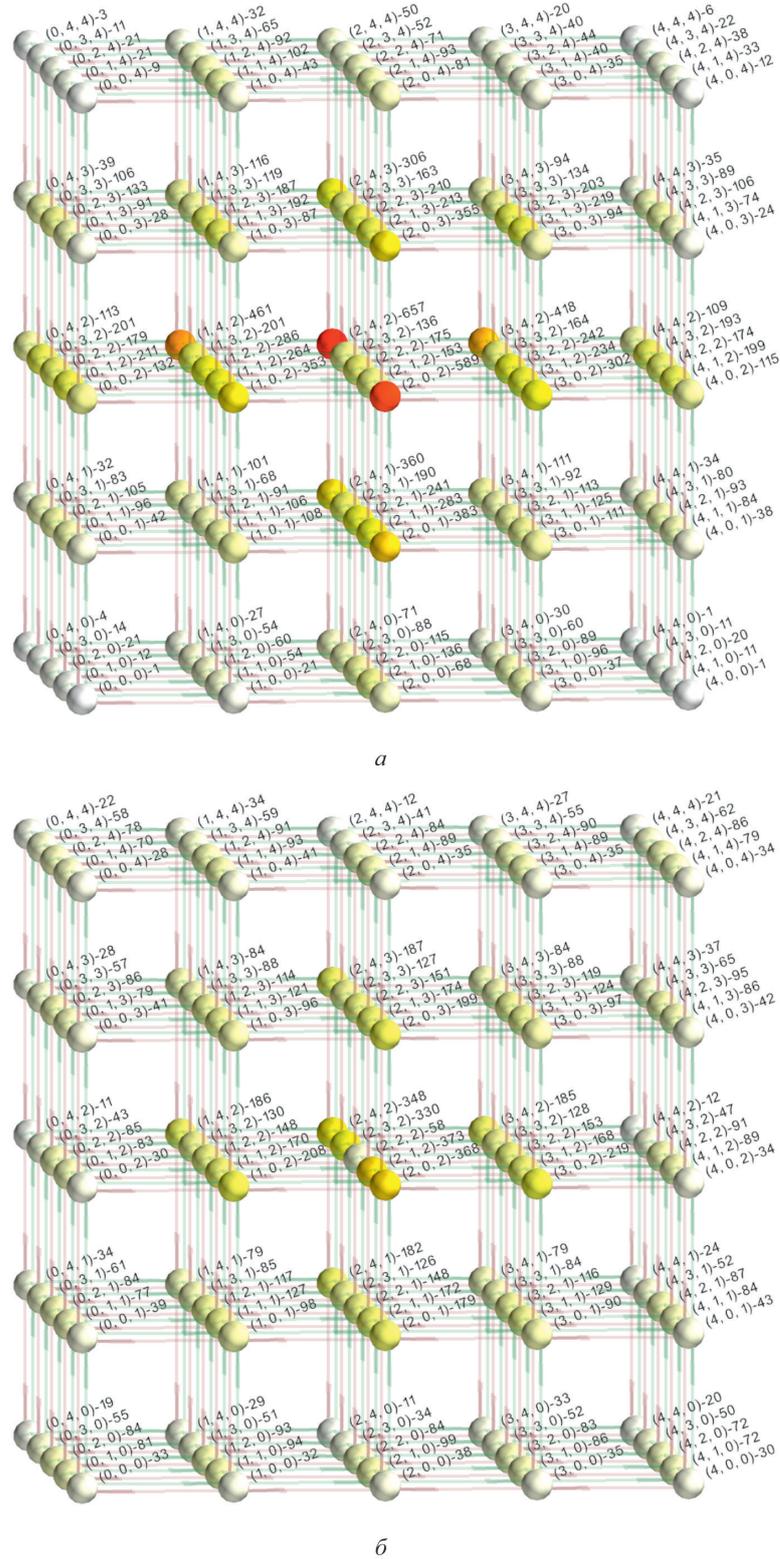


Рис. 7. Визуализация износа ячеек склада:

a – без учета параметра износа; *b* – с учетом параметра износа

Fig. 7. Visualization of warehouse cell durability: *a* – without considering durability parameter;

b – with consideration of durability parameter

Возможность оптимизации структуры массивов складских ячеек

Дополнительно исследована возможность удешевления структуры склада путем замены ячеек, способных перемещать груз по всем осям, на ячейки, способные перемещать груз по одной или двум осям. Предполагается, что склад состоит из массивов ячеек размерами $4 \times 3 \times 3$, в которых ячейки имеют аналогичные конфигурации. Именно оптимизация данных массивов является основной задачей данного исследования.

Основное требование к данным массивам заключается в возможности передачи груза между границами этих массивов. Стоимость структуры вычисляется как сумма стоимостей всех входящих в нее ячеек. Стоимость ячейки же зависит от стоимости осей, в которых она способна передавать контейнер. Так, для осей OX и OY стоимости назначены в 0,2 усл. ед., а для оси OZ – 0,6 усл. ед.

Помимо описанного показателя стоимости, также учитывается эффективность передачи контейнеров между ячейками массива. Данный показатель вычисляется по следующей формуле:

$$F_{eff} = \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_c} \frac{D(C_i, C_j)}{|C_i[X] - C_j[X]| + |C_i[Y] - C_j[Y]| + |C_i[Z] - C_j[Z]|},$$

где C_k – позиция k -й ячейки; $D(C_i, C_j)$ – количество шагов для перемещения контейнера из ячейки C_i в ячейку C_j (согласно графу склада); $C_k[X]$, $C_k[Y]$, $C_k[Z]$ – координаты x , y , z позиции ячейки C_k ; N_c – количество ячеек в массиве.

Итоговую целевую функцию, используемую при оптимизации структуры массива склада, можно представить в следующем виде:

$$F(F_{eff}, F_{cost}, \alpha) = \alpha \cdot F_{eff} + (1 - \alpha) \cdot F_{cost} \rightarrow \min$$

где F_{eff} – показатель эффективности перемещения груза в массиве ячеек; F_{cost} – суммарная стоимость ячеек массива; α – коэффициент значимости показателя эффективности $\alpha \in [0; 1]$.

Процесс оптимизации осуществлялся с применением генетического алгоритма [10], где в качестве генотипа использовался массив из 36 целочисленных значений в диапазоне от 0 до 6 (генов), указывающих на конфигурацию каждой ячейки массива. Значения генов и допустимые конфигурации ячеек представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения генов и допустимые конфигурации ячеек

Table 2

Gene Values and Permissible Cell Configurations

Значение гена	Конфигурация ячейки (направления передачи контейнера)	Стоимость конфигурации
0	OX, OY, OZ	1,0
1	OX	0,2
2	OY	0,2
3	OZ	0,2
4	OX, OY	0,4
5	OX, OZ	0,8
6	OY, OZ	0,8

В качестве параметра α выбрано значение 0,5. Размер популяции был установлен в 20 особей.

В результате проведенных вычислений на протяжении 150 поколений был выявлен ряд конфигураций, являющихся наиболее оптимальными в вопросе удешевления, удовлетворяющими всем требованиям корректного функционирования. На рис. 8 представлен пример корректированного графа массива ячеек оптимальных конфигураций. Стоимость представленной структуры составила 18 усл. ед.

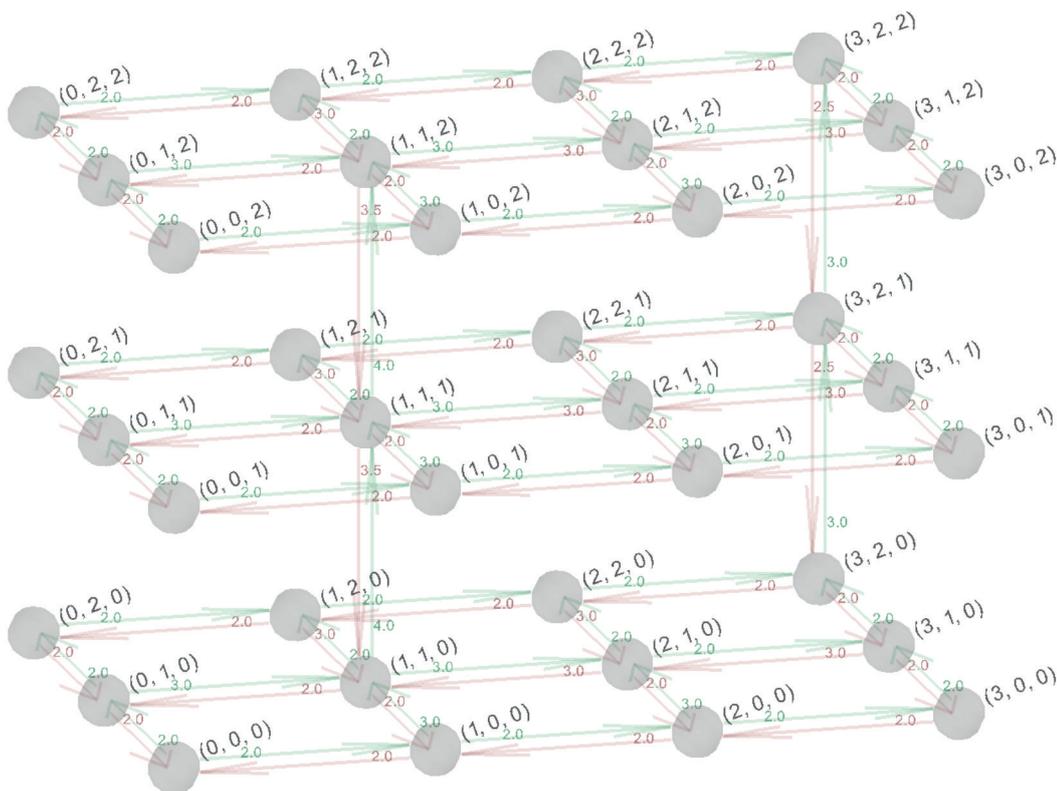


Рис. 8. Пример графа оптимальной структуры массива ячеек склада
Fig. 8. Example of the optimal structure graph for the array of warehouse cells

Заключение

Предложенный метод построения графа склада позволяет сформировать структуру склада и предоставляет возможность гибкой настройки стоимости перемещений, учитывая следующий ряд критериев: базовая стоимость перемещения, износ ячеек, вес груза контейнера, хрупкость груза контейнера, среднее расстояние до ближайших свободных ячеек и ремонтнопригодность.

Алгоритм загрузки склада позволяет определить путь перемещения контейнеров для оптимального расположения нового контейнера на складе. Представленный алгоритм разгрузки, помимо определения оптимального пути перемещения контейнера к выходу склада, дополнительно осуществляет определение путей разгрузки занятых ячеек, расположенных на основном пути. Предложенные алгоритмы способны выдавать удовлетворительные результаты относительно перемещения контейнеров по складу для выполнения тех или иных действий.

В перспективе имеется возможность дальнейшего анализа производительности и оптимизации предложенных алгоритмов. В результате имитационного моделирования работы склада размерами $5 \times 5 \times 5$ с использованием предложенных алгоритмов (с учетом и без учета параметров износа ячеек) была определена значимость данного критерия в вопросах увеличения интервалов обслуживания склада и максимизации времени до первого сбоя. Разработана целевая функция, позволяющая выполнять оптимизацию структуры подобного рода складских систем с учетом различных требований к скорости или стоимости складского массива и коэффициента значимости

Список литературы / References

1. **Koster R. B. M. de.** Automated and Robotic Warehouses: Developments and Research Opportunities // *Logistics and Transport*. 2018. Vol. 38. № 2. P. 33. DOI: 10.26411/83-1734-2015-2-38-4-18
2. **Furmans K., Schonung F., Gue K.** Plug-And-Work Material Handling Systems // *Progress in Material Handling Research*. 2010. P. 132-142. URL: https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1038&context=pmhr_2010
3. **Xiaoyi Z., Changpeng S., Peng L., Yigong Z., Benjin L., Wenkai M.** Optimizing Replenishment Base on Order Structure in Combined Automatic Warehouse System // *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 66729-66741. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3291086
4. **Raviv T., Bukchin Y., de Koster R.** Optimal Retrieval in Puzzle-Based Storage Systems Using Automated Mobile Robots // *Transportation Science*. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). 2023. Vol. 57, № 2. P. 424–443.
5. **Gue K. R., Kim B. S.** Puzzle-based storage systems // *Naval Research Logistics*. 2007. Vol. 54, no. 5. P. 556–567. DOI: 10.1002/nav.20230
6. **Gue K. R., Furmans K., Seibold Z., Uludağ O.** GridStore: A Puzzle-Based Storage System With Decentralized Control // *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2014. Vol. 11, no. 2. P. 429-438. DOI: 10.1109/TASE.2013.2278252
7. **Ore O.** Theory of Graphs. Colloquium Publications, Dec. 1962. DOI: 10.1090/coll/038
8. **Bondy J. A., Murty U. S. R.** Graph Theory with Applications. 1976. DOI: 10.1007/978-1-349-03521-2
9. **Fredman M. L., Tarjan R. E.** Fibonacci heaps and their uses in improved network optimization algorithms // *Journal of the ACM*. 1987. Vol. 34, no. 3. P. 596–615. DOI: 10.1145/28869.28874
10. **Mitchell M.** An Introduction to Genetic Algorithms. 1998. DOI: 10.7551/mitpress/3927.001.0001

Информация об авторах

Александр Владимирович Разумовский, инженер

WoS Researcher ID: JFA-2364-2023

ID РИНЦ: 1177886

Михаил Владимирович Сарамуд, кандидат технических наук

WoS Researcher ID: H-1483-2018

Scopus Author ID: 57193316

ID РИНЦ : 744907

Яков Юрьевич Пикалов, кандидат технических наук

WoS Researcher ID: AAD-5349-2022

Scopus Author ID: 57221839886

ID РИНЦ : 606492

Information about the Authors**Alexander V. Razumovsky**, Engineer

WoS Researcher ID: JFA-2364-2023

ID RSCI: 1177886

Mikhail V. Saramud, Ph.D. in Technical Sciences

WoS Researcher ID: H-1483-2018

Scopus Author ID: 57193316

ID RSCI: 744907

Yakov Yu. Pikalov, Ph.D. in Technical Sciences

WoS Researcher ID: AAD-5349-2022

Scopus Author ID: 57221839886

ID РИНЦ: 606492

*Статья поступила в редакцию 24.10.2023;
одобрена после рецензирования 14.12.2023; принята к публикации 14.12.2023*

*The article was submitted 24.10.2023;
approved after reviewing 14.12.2023; accepted for publication 14.12.2023*

Научная статья

УДК 629.73.054:621.396(075.8)

DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-71-78

Создание программного инструмента с элементами искусственной нейронной сети для прогнозирования данных

Владимир Николаевич Пичугин¹

Антон Александрович Солдатов²

Евгения Романовна Тюрюшова³

¹⁻³Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова
Чебоксары, Россия

¹vladimir_iii@mail.ru

²aa.soldatov@bk.ru

³evgenia.kleopatra@yandex.ru

Аннотация

В настоящее время в России идет движение в сторону автоматизации сбора информации с приборов учета расхода тепла, газа, воды, электричества и т. п. Ведутся разработки технологий, позволяющие передавать данные расхода ресурсов по различным каналам связи как проводным, так и эфирным. Уже существуют приборы и устройства, позволяющие по существующим проводным сетям связи передавать показания приборов учета расхода электричества, и данный вопрос решается на законодательном уровне, принят Федеральный закон № 522-ФЗ от 01.07.2020. Основанием для исследований является экономия времени и усилий по получению необходимой информации для учета показаний электроэнергии с подстанций, повышение скорости принятия решений, получение возможности прогнозировать ситуацию с большими данными для выявления аномальных значений и их устранения (например, идентифицированные данные с электросчетчиков позволяют сократить временные трудозатраты операторов учета и экономические потери предприятия энергосбыта). В статье предложены программные методы выявления данных о потерях электроэнергии, основанные на использовании алгоритмов искусственных нейронных сетей и позволяющие обнаружить места несоответствий коммерческих данных показаний электросчетчиков, что позволит уменьшить коммерческую составляющую потерь электроэнергии. Выполнен проверочный расчет искусственной нейронной сети на предмет несоответствий данных о передаваемой электроэнергии.

Ключевые слова

признак обеспечения корректности учета электроэнергии, искусственные нейронные сети, мгновенное состояние прибора учета электроэнергии

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства», договор № 303ГССС15-Л/78984.

Для цитирования

Пичугин В. Н., Солдатов А. А., Тюрюшова Е. Р. Создание программного инструмента с элементами искусственной нейронной сети для прогнозирования данных // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 4. С. 71–78. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-71-78

© Пичугин В. Н., Солдатов А. А., Тюрюшова Е. Р., 2023

Creation of a Software Tool with Elements of an Artificial Neural Network for Data Forecasting

Vladimir N. Pichugin¹, Anton A. Soldatov²,
Eugeniya R. Tyuryushova³

¹⁻³Chuvash State University named I. N. Ulyanov

¹vladimir_iii@mail.ru

²aa.soldatov@bk.ru

³evgenia.kleopatra@yandex.ru

Abstract

Currently, Russia is moving towards automating the collection of information from metering devices for heat, gas, water, electricity, etc. Technologies are being developed that allow transmitting data on resource consumption through various communication channels, both wired and on-air. There are already devices and devices that allow transmitting readings of electricity metering devices over existing wired communication networks, and this issue is being resolved at the legislative level, federal Law No. 522-FZ of 01.07.2020 has been adopted. The basis for the research is to save time and effort to obtain the necessary information to take into account the readings of electricity from substations, increase the speed of decision-making, to be able to predict the situation with big data to identify abnormal values and eliminate them (for example, identified data from electricity meters will reduce the time labor costs of accounting operators and economic losses of the energy supply company). The article proposes software methods for detecting data on electricity losses based on the use of artificial neural network algorithms and allowing to detect inconsistencies of commercial data readings of electric meters, which will reduce the commercial component of electricity losses. A verification calculation of an artificial neural network was performed for inconsistencies in the data on the transmitted electricity.

Key words

a sign of ensuring the correctness of electricity metering, artificial neural networks, instantaneous state of the electricity metering device

Funding

The work was carried out with financial support from the Innovation Promotion Fund within the framework of the federal project "University Technological Entrepreneurship Platform", contract No. 303ГССС15-Л/78984.

For citation

Pichugin V. N., Soldatov A. A., Tyuryushova A. R. Creation of a software tool with elements of an artificial neural network for data forecasting. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 71–78. DOI 10.25205/1818-7900-2023-21-4-71-78

Введение

Основной целью учета электроэнергии является получение достоверной информации о количестве производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии на оптовом рынке ЕЭС России и розничном рынке электропотребления [1–3].

Целью исследования является изучение конструкции радиоприемного цифрового модуля для обнаружения, идентификации и удаленной передачи данных на базе фрактальных антенн, а также реализация программного инструмента для обработки и предсказания данных, полученных с помощью данного модуля.

Объектом исследования являются крупные юридические лица (предприятия, сектор рынка В2В) в электроэнергетике, включающие в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии, крупного и среднего бизнеса, расположенные на территории Российской Федерации.

Предметом исследования является процесс сбора удаленных данных учета электроэнергии, например, цифровых подстанций предприятий и сетевых компаний, занимающегося передачей электроэнергии: для этого на удаленной подстанции размещается цифровой модуль, который позволяет сканировать показания счетчика электроэнергии.

Методы исследования

Для определения объемов электроэнергии со смешанной группой учета, в простом понимании слова, составления баланса электроэнергии по уровню и определения расхождений в данных сетевой и сбытовой энергокомпаний планируется использовать программное решение, автоматизирующее процесс определения расхода электроэнергии по потребителям и составлению балансов электроэнергии с учетом прогноза и предсказания данных [4]. Таким образом, необходимо создавать отдельную программу – дополнение к имеющейся корпоративной системе учета электроэнергии «Омнис», способную произвести аккумулирование (сложение) потребления электроэнергии. В качестве ограниченной области выберем отдельную службу предприятия, в нашем случае это служба реализации услуг по передаче электроэнергии Алатырского ПО филиала ПАО «МРСК Волги» – «Чувашэнерго» [5; 6]. В дальнейшем, если разработка понравится руководству предприятия электросетей, можно инициировать продолжение развития программного средства определения расхода электроэнергии и определения расхождений коммерческих данных о потреблении электроэнергии, но уже в составе некой общей корпоративной информационной системы. Стоит отметить некоторые более ранние публикации, в которых рассматривалось применение искусственных нейронных сетей для обнаружения «плохих данных» в измерениях [5].

Описание программного инструмента и результаты его работы

На первом этапе производится выбор архитектуры нейронной сети (рис. 1). На данном этапе в качестве обучающей выборки использованы большие данные двух статистик, первые данные – с действующего оборудования комплекса учета энергопотребления Алатырского ПО филиала ПАО «МРСК Волги» – «Чувашэнерго», вторая – в рамках лабораторного эксперимента, проводимого на площадке факультета энергетики и электротехники в ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова».

На втором этапе, который представляет собой подбор весовых коэффициентов, осуществляется обучение нейронной сети, чтобы выявить аномальные значения показаний приборов энергопотребления с малой погрешностью появления.

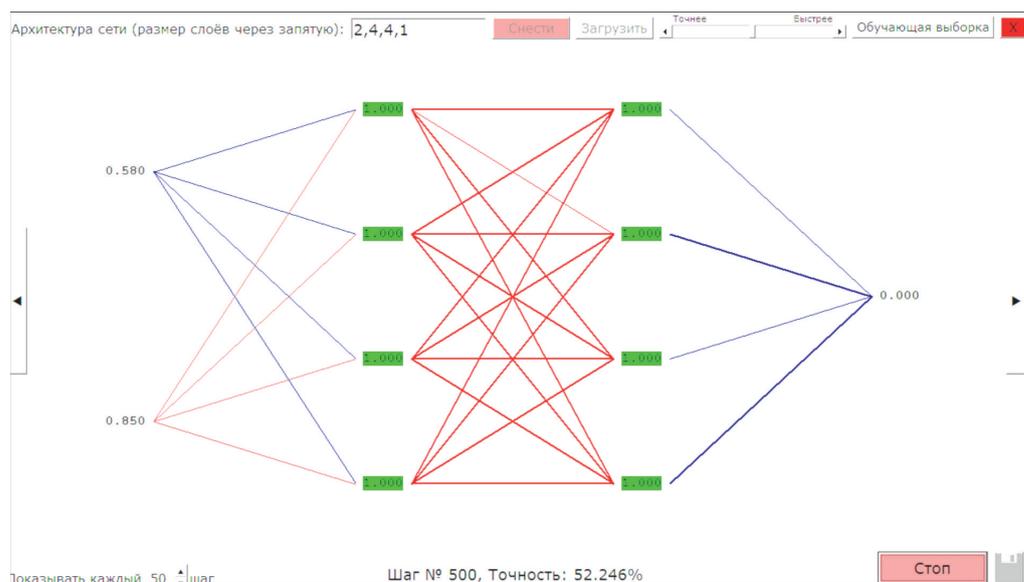


Рис. 1. Архитектура нейронной сети

Fig. 1. Neural network architecture

Оконечное устройство, например электросчетчик, формирует показания в виде текстового файла (рис. 2). В первой строке дата снятия показаний электросчетчика (22.06.2023), сами показания (34476) и заводской номер электросчетчика (SerN 57347123). Во второй строке данные на 23.06.2023. В третьей строке название организации для примера указано ООО Vector.

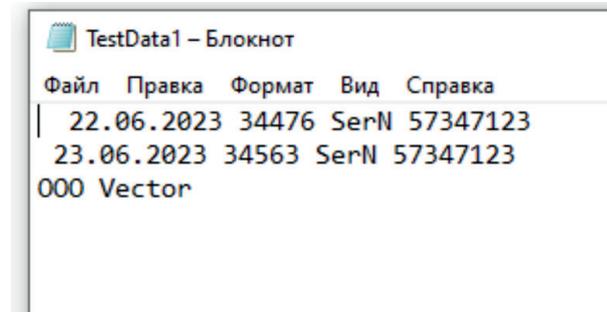


Рис. 2. Тестовый файл с показаниями электросчетчика
Fig. 2. Text file with electric meter readings

На рис. 3 представлена работа программного инструмента CR_Energy, предназначенного для сбора и прогнозирования показаний счетчика электроэнергии. Сформированный оконечным устройством текстовый файл с помощью модуля автоматического считывания показаний счетчика передает этот текстовый файл в центр сбора данных. В левой части рисунка изображен интерфейс программного инструмента CR_Energy на передающей стороне, в правой части – интерфейс программного инструмента CR_Energy на приемной стороне. На рис. 4 представлена диаграмма рассеяния режимов работы приборов учета электропотребления, где в круге выделены аномальные показания счетчиков электроэнергии (например, неисправность оборудования, выход из строя трансформатора или обрыв линии; либо человеческий фактор, такие как невнимательность оператора или хищение абонентами).

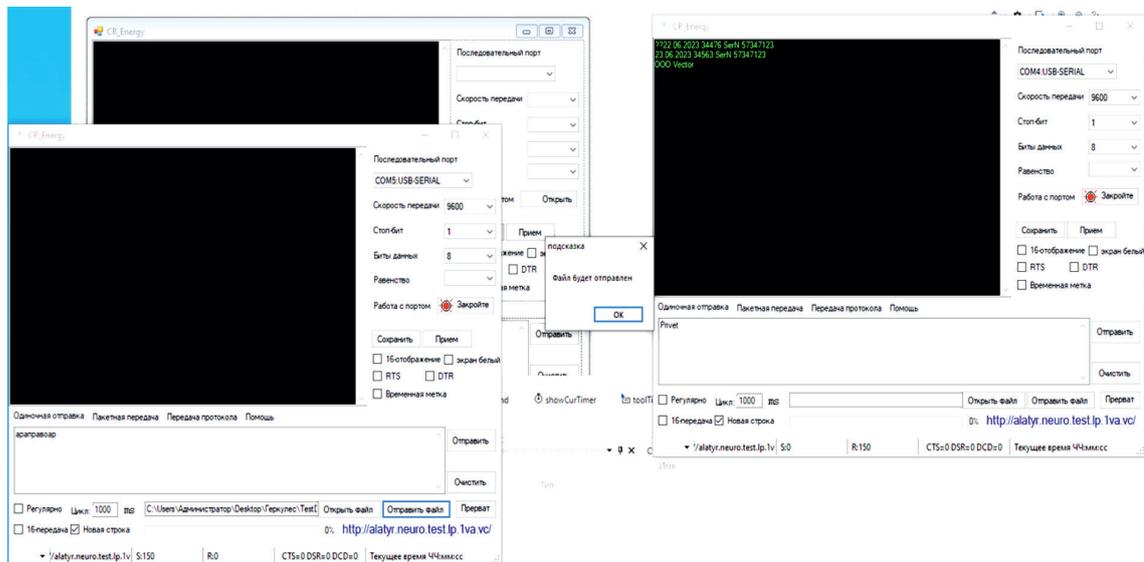


Рис. 3. Внешний вид работы программного инструмента (язык C# среда Visual Studio)
Fig. 3. The appearance of the software tool (C# language, Visual Studio environment)

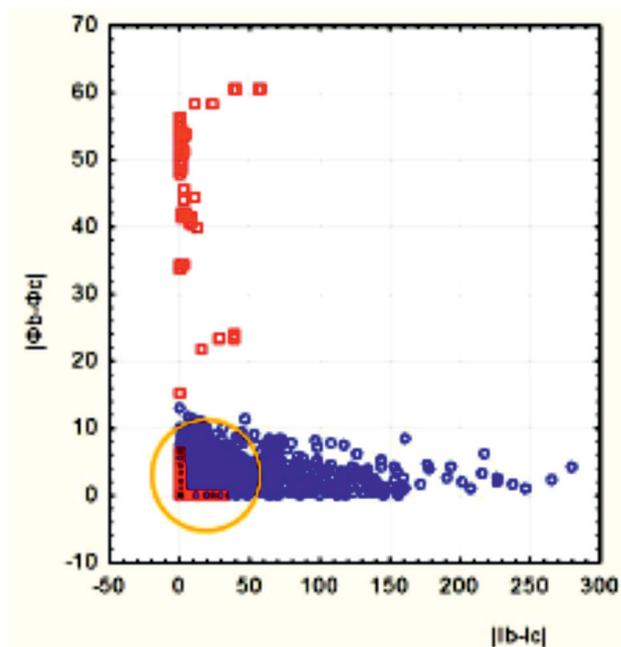


Рис. 4. Диаграмма рассеяния режимов работы приборов учета энергопотребления
Fig. 4. The scattering diagram of the operating modes of energy metering devices

Анализ результатов работы программного инструмента

Разработанный программный инструмент CR_Energy применяется для цифрового модуля передачи показаний приборов энергопотребления, схема которого согласована с производителем автоматизированной информационно-измерительной системы дистанционного сбора и передачи удаленных данных (ОАО «Электроавтомат», г. Алатырь).

Для этого спроектирована автоматизированная информационно-измерительная система дистанционного сбора и передачи удаленных данных (АИИС ДСПД). Система предназначена для дистанционного сбора, обработки, хранения и передачи информации о потреблении и балансе энергоресурсов. Основной отличительной особенностью системы является использование для передачи данных нелицензируемых диапазонов частот 433 МГц, 868 МГц, 2400 МГц, а также других каналов связи. Развертывание системы сводится к установке индивидуальных, общедомовых и балансовых приборов учета, аппаратуры каналов связи, построение сети и организация диспетчерских пунктов.

Состав оборудования системы: приборы учета (счетчики) – любые приборы учета с импульсным выходом; приемно-передающий цифровой модуль (ППЦМ) – устройство сбора, регистрации и передачи данных по радиоканалам; ретранслятор – устройство приема и передачи данных, работающий в режиме ретрансляции; мастер считывания данных – устройство сбора и передачи данных по радиоканалам; стационарный или мобильный компьютер; разработанное программное обеспечение CR_Energy; коммутационные устройства.

Основные возможности системы: дистанционная передача данных; расчеты на основе фактических данных о потребленных энергоресурсах; возможность выявления хищений; возможность дистанционного ограничения или отключения (ст. 157 ЖК РФ, постановление правительства № 354 от 06.05.11); дистанционная настройка параметров; возможность передачи данных на значительное расстояние с использованием режима ретрансляции; преобразование полученных данных в различные форматы, возможность работы в любых стандартных

программах; сохранение полученных данных в течение 30 лет; двухуровневая защита информации – аппаратная и программная; мобильный съем показаний при помощи мастера сбора данных и ноутбука; максимальное количество точек учета – 65534 или 216 (определяется разрядностью контроллера).

В рамках заключительного пункта проведения исследований сотрудниками предприятия – изготовителя счетчиков электрической энергии (АО «Электроавтомат», г. Алатырь) совместно с авторами разработан испытательный стенд по тестированию вновь созданной цифровой технологии удаленного сканирования и предсказания показаний счетчиков электрической энергии для отечественных производителей (рис. 5). Заключен договор 1623-22/08-23 от 24.07.2023 аренды разработанного оборудования и осуществлено приобретение счетчиков электрической энергии (ЭЛТА-1, ЭЛТА-3) для проведения тестирования цифрового модуля и программного инструмента к нему при передаче данных по радиоканалу.

Осуществлено тестирование разработанной автоматизированной информационно-измерительной системы дистанционного сбора и передачи удаленных данных (АИИС ДСПД) на предприятии – изготовителе умных счетчиков электрической энергии с радиоканалом. Выявлены основные достоинства системы (АИИС ДСПД): возможность интеграции системы к установленным счетчикам электрической энергии, независимо от марки и производителя; возможность адаптации получаемой информации к любой системе обработки данных; относительно невысокая стоимость оборудования; возможность дистанционного ограничения или отключения энергопотребления при необходимости; возможность вести учет и контроль потребления энергоресурсов в реальном времени, сводить баланс на объектах; использование нелицензированных диапазонов частот; надежность работы системы; простота монтажа и эксплуатации.

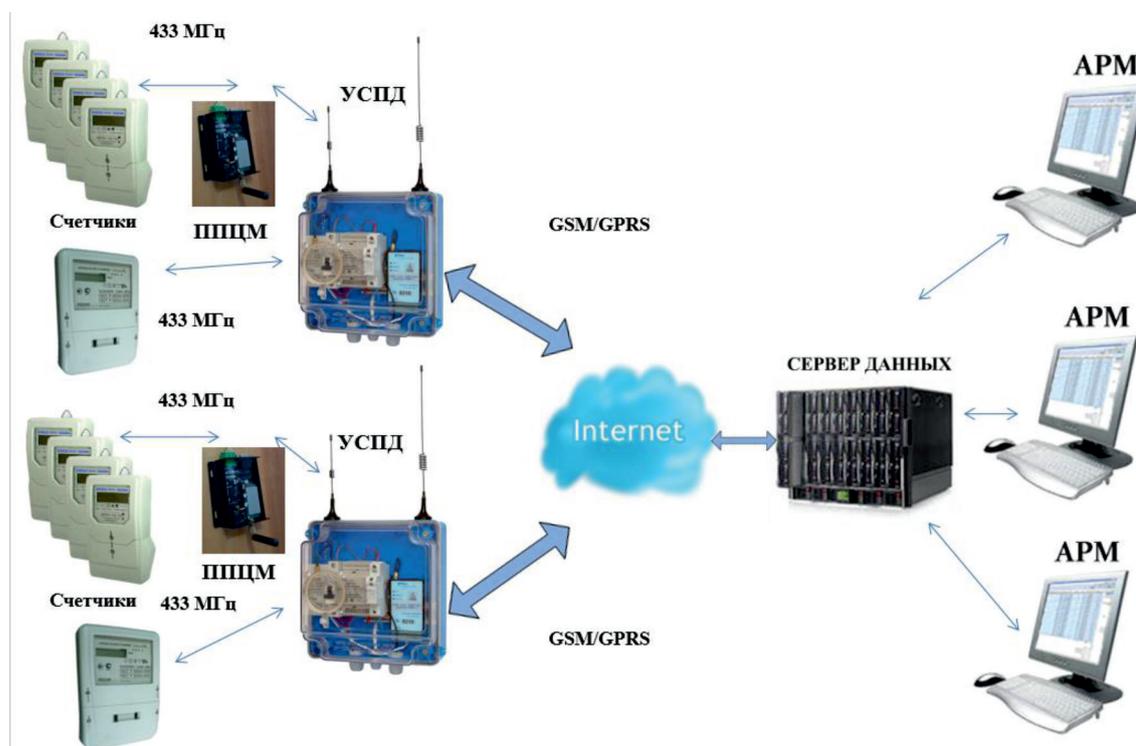


Рис. 5. Испытательный стенд для тестирования АИИС ДСПД

Fig. 5. Test bench for testing AIIS DSPD

Заключение и дальнейшие перспективы исследования

В конечном итоге выполнена разработка оригинальной математической модели нейронной сети, алгоритма работы и программного средства, позволяющего анализировать и прогнозировать ситуацию с большими данными для выявления аномальных значений показаний приборов учета энергопотребления и их устранения (например, спрогнозированные данные с электросчетчиков позволят сократить временные трудозатраты операторов учета и экономические потери предприятия энергосбыта).

В рамках общей цели решены следующие частные задачи.

1. Выполнена разработка модели нейронной сети и создан прототип программного инструмента.

2. Получена выборка данных показаний электросчетчиков с Алатырского ПО филиала ПАО «МРСК Волги» – «Чувашэнерго».

3. Достигнута договоренность с ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И. Н. Ульянова» об установке экспериментального образца интеллектуального цифрового модуля и прототипа программного инструмента на промышленной площадке факультета энергетики и электротехники для проведения исследований.

4. Выполнена оценка возможности нейронной сети для прогнозирования данных в данной предметной области (прогнозирование показаний счетчиков) с целью дальнейшей коммерциализации на ПАО «Россети».

Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022683810 «Программный инструмент для моделирования передачи и идентификации данных с помощью радиоприемного цифрового модуля».

Экспериментальное применение разрабатываемого программного инструмента по предсказанию данных только в Алатырском районе Чувашии позволит сократить время определения ненормального режима работы приборов учета электроэнергии, что обеспечит прибыль порядка десяти миллионов рублей за каждый отчетный период.

Список литературы

1. **Шаров В. В., Фатыхов Р. И.** Система автоматического контроля и учета электроэнергии на основе web-интерфейсов // Датчики и системы. М.: Сенсидат-Плюс, 2015. № 9–10. С. 62–64.
2. **Савельева Е. В., Шулгина А. А., Папанцева Е. И.** Пути повышения точности измерений и достоверности учета электроэнергии // Международный студенческий научный вестник. Пенза: Информационно-технический отдел Академии естествознания, 2015. № 3–1. С. 74–75.
3. **Кочнева Е. С., Паздерин А. В.** Выявление недостоверных измерений электрической энергии с помощью апостериорного анализа // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия: Технические науки. 2014. № 2. С. 32–39.
4. **Кочнева Е. С., Паздерин А. В.** Модификация метода контрольных уравнений для достоверизации измерений электроэнергии // Электрические станции. М.: Энергопрогресс, 2016. № 10. С. 20–25.
5. **Солдатов А. А., Евдокимов Ю. К.** Построение многофункциональной автоматизированной системы и алгоритмов контроля и диагностики режимов работы систем учета электроэнергии электросетевых подстанций // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 3. С. 1–10.

References

1. **Sharov V. V., Fatykhov R. I.** System of automatic control and metering of electricity based on web-interfaces. *Sensors and systems*. Moscow, Sensidat-Plus publ., 2015, no. 9–10, pp. 62–64. (in Russ.)
2. **Savelyeva E. V., Shunina A. A., Papantseva E. I.** Ways to improve the accuracy of measurements and reliability of electricity metering. *International Student Scientific Bulletin*. Penza, 2015, no. 3-1, pp. 74–75. (in Russ.)
3. **Kochneva E. S., Pazderin A. V.** Identification of unreliable measurements of electrical energy using a posteriori analysis. *Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical sciences*, 2014, no. 2, pp. 32–39. (in Russ.)
4. **Kochneva E. S., Pazderin A. V.** Modification of the method of control equations for the reliability of electricity measurements. *Electric stations*. Moscow, Energoprogress publ., 2016, no. 10, pp. 20–25. (in Russ.)
5. **Soldatov A. A., Evdokimov Yu. K.** Construction of a multifunctional automated system and algorithms for monitoring and diagnostics of operating modes of electricity metering systems of electric grid substations. *Devices and systems. Management, control, diagnostics*, 2017, no. 3, pp. 1–10. (in Russ.)

Информация об авторах

Владимир Николаевич Пичугин, кандидат технических наук

Антон Александрович Солдатов, кандидат технических наук

Евгения Романовна Тюрюшова, студент

Information about the authors

Vladimir N. Pichugin, Ph. D

Anton A. Soldatov, Ph. D

Evgeniya R. Tyuryushova, Student

*Статья поступила в редакцию 23.11.2023;
одобрена после рецензирования 10.12.2023; принята к публикации 10.12.2023*

*The article was submitted 23.11.2023;
approved after reviewing 10.12.2023; accepted for publication 10.12.2023*

Правила оформления текста рукописи

Авторы представляют статьи на русском или английском языке объемом от 0,5 авторского листа (20 тыс. знаков) до 1 авторского листа (40 тыс. знаков), включая иллюстрации (1 иллюстрация форматом 190 × 270 мм = 1/6 авторского листа, или 6,7 тыс. знаков). Публикации, превышающие указанный объем, допускаются к рассмотрению только после индивидуального согласования с редакцией журнала.

Текст рукописи должен быть представлен в редколлегию в виде файла MS Word (.doc, .docx). Гарнитура Times New Roman, размер шрифта 11, межстрочный интервал 1, размеры полей – стандартные значения текстового редактора. Форматирование – выравнивание по ширине страницы, переносы слов включены, каждый новый абзац начинается с красной строки. Не допускается ручное форматирование абзацев (пробелами, лишними переводами строк, разрывами страниц).

Структура статьи

- Индекс УДК (универсальной десятичной классификации). Выравнивание по левому краю
- Название статьи. Выравнивание по центру, полужирный шрифт
- ФИО авторов (полностью). Выравнивание по центру, полужирный шрифт
- Места работы всех авторов. Выравнивание по центру, курсив
- Адреса электронной почты, ORCID авторов
- Аннотация статьи
- Ключевые слова, не более 10
- Благодарности, сведения о финансовой поддержке
- Название статьи **на английском языке**. Выравнивание по центру, полужирный шрифт
- ФИО авторов **на английском языке** (полностью). Выравнивание по центру, полужирный шрифт
- Места работы авторов **на английском языке**. Выравнивание по центру, курсив
- Аннотация статьи **на английском языке (Abstract)**, 200–250 слов
- Ключевые слова **на английском языке (Keywords)**, не более 10
- Благодарности, сведения о финансовой поддержке **на английском языке**, если есть соответствующий раздел на русском языке (**Acknowledgements**)
- Основной текст
- Список литературы / **References**
- Сведения об авторах

Требования к оформлению основного текста и иллюстративных материалов

Основной текст должен быть представлен в структурированном виде, рекомендуется использовать подзаголовки – например: Введение, Методика..., Выводы, Результаты, Заключение.

Подзаголовки отделяются и набираются полужирным шрифтом. В целях выделения частей текста и отдельных слов и словосочетаний допускается использование курсива или полужирного шрифта. Подчеркивание, разрядка, изменение основного кегля и выделение цветом не используются.

Иллюстрации к рукописи статьи должны быть приложены в виде отдельных файлов. При этом в тексте должно содержаться включенное изображение с указанием имени файла. Все иллюстрации, содержащие схемы, графики, алгоритмы и т. п., должны быть представлены в векторном виде (.ai, .eps, .cdr). Скриншоты и другие растровые изображения должны быть представлены в максимально высоком качестве, без каких-либо потерь и искажений (.jpg, .tif). Все иллюстрации должны иметь подрисуночную подпись – свое название. Надписи к таблицам и подписи к иллюстрациям приводятся **на двух языках (русском и английском)**.

Примеры:

Рис. 1. Диаграмма производительности...

Fig. 1. Performance diagram...

Таблица 1

Сравнение алгоритмов...

Table 1

Comparison of algorithms...

Нумерация последовательная и неразрывная от начала статьи. Не допускается использование других наименований, кроме «Рис.» / «Fig.», «Таблица» / «Table», и усложнение нумерации (например, «Рис. 3.2.»). Ссылка на иллюстрацию в тексте должна быть приведена в круглых скобках, например: (рис. 1), (табл. 1).

Формулы должны быть набраны с использованием редактора MathType либо встроенного редактора формул MS Word. Кегль основных символов – 11, греческие символы набираются прямым шрифтом, латинские – курсивом. Нумеруются только те формулы, на которые автор ссылается в тексте.

Abstract

Аннотация статьи на английском языке (Abstract) не должна быть дословным переводом русскоязычной аннотации. Раздел Abstract, как и основной текст, должен быть структурирован, в нем должно содержаться описание цели работы, методов исследования, научной значимости, выводов / результатов. Требуется качественный перевод на английский язык (при необходимости просим авторов обращаться к профессиональным переводчикам). **Объем Abstract 200–250 слов.**

Список литературы / References

Список литературы и список литературы на английском языке (References) размещаются в общем разделе. Рекомендуемое количество цитируемых в статье источников – не менее 10, в список желательно включать ссылки на актуальные работы по теме исследования, особенно в иностранных периодических изданиях.

В тексте статьи ссылки на литературу указываются цифрами в квадратных скобках, при необходимости указываются номера страниц, например: [2; 3. С. 15].

Список литературы нумеруется в порядке цитирования и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 на библиографическое описание (знаки тире в описании опускаются). Ссылки на неопубликованные работы, а также на Интернет-ресурсы (кроме электронных изданий, поддающихся библиографическому описанию) оформляются в виде сноски.

В Список литературы ссылки на источники следует включать на оригинальном языке опубликования. Каждый источник должен быть также оформлен на английском языке (References) по международному стандарту для публикаций в области информатики IEEE Style со следующими отличиями:

- инициалы авторов указываются после фамилии;
- название статьи не берется в кавычки, отделяется точкой;

- отсутствует союз «and» перед фамилией последнего автора;
- в диапазоне страниц – удвоенная «р» (например, «pp. 2–9»);
- год издания указывается после места издания (для книг) и сразу после названия журнала (для периодики).
- Перевод источника на английский язык:
- если источник имеет выходные данные на английском языке, то для формирования References **следует использовать именно эти данные**;
- если оригинальная публикация не содержит выходных данных на английском языке, то допускается транслитерация названия материала на латинский алфавит в сочетании с переводом на английский язык в квадратных скобках. В конце описания указывается, на каком языке написана эта работа, например, (in Russ.). При транслитерации можно воспользоваться Интернет-ресурсом <http://ru.translit.ru/>, рекомендуется выбрать стандарт BSI. Место издания не транслитерируется, указывается полностью на английском языке, например: Moscow. Название издательства / издателя, как правило, транслитерируется. Для журналов, у которых есть официальное название на английском языке, – использовать его (проверить на сайте журнала, или, например, в библиотеке WorldCat), если названия на английском языке нет, использовать транслитерацию по системе BSI. Не следует самостоятельно переводить названия журналов.

Если у цитируемого источника есть **цифровой идентификатор DOI** (<https://search.crossref.org/>), его требуется обязательно указывать в конце библиографической ссылки.

Примеры оформления ссылок. Каждый источник в том же пункте дублируется на английском языке (References).

Источник на русском языке, перевод на английский доступен в метаданных статьи

1. Журавлев С. С., Рудометов С. В., Окольнішников В. В., Шакиров С. Р. Применение модельно-ориентированного проектирования к созданию АСУ ТП опасных промышленных объектов // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2018. Т. 16, № 4. С. 56–67. DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-4-56-67

Zhuravlev S. S., Rudometov S. V., Okolnishnikov V. V., Shakirov S. R. Model-Based Design Approach for Development Process Control Systems of Hazardous Industrial Facilities. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 56–67. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2018-16-4-56-67

Источник на английском языке. Оформляем согласно требованиям для References. Приводим только 1 раз.

2. Telnov V. I. Optimization of the Beam Crossing Angle at the ILC for E + e- and $\gamma\gamma$ Collisions. *Journal of Instrumentation*, 2018, vol. 13, no. 03, pp. P03020–P03020. DOI 10.1088/1748-0221/13/03/p03020

Метаданные источника доступны только на русском языке

3. Жижимов О. Л., Федотов А. М., Шокин Ю. И. Технологическая платформа массовой интеграции гетерогенных данных // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2013. Т. 11, вып. 1. С. 24–41.

Zhizhimov O. L., Fedotov A. M., Shokin Yu. I. Tekhnologicheskaya platforma massovoi integratsii geterogennykh dannykh [Technology Platform for the Mass Integration of Heterogeneous Data]. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2013, vol. 11, no. 1, pp. 24–41. (in Russ.)

Сведения об авторах

Последний раздел статьи – информация об авторе / авторах **на русском и английском языках**:

- ФИО полностью, ученая степень, ученое звание;
- идентификаторы автора, такие как ResearcherID (всем авторам рекомендуется использовать данные сервисы для ведения актуального списка своих публикаций);
- контактный телефон (не публикуется).

Если статья представляется на английском языке, необходимо приложить перевод на русский язык названия, аннотации, ключевых слов, сведений об авторе.

Доставка материалов

Материалы предоставляются в редакцию по электронной почте inftech@vestnik.nsu.ru.

Порядок рецензирования

Все статьи сначала проходят проверку на заимствование и только после этого отправляются на рецензирование. Редакционный совет не допускает к публикации материал, если имеется достаточно оснований полагать, что он является плагиатом.

Тип рецензирования статей – двухуровневое, одностороннее анонимное («слепое»).

Для каждой статьи редколлегией выбираются рецензенты, научная деятельность которых связана с темой представленного материала. Ответственный секретарь журнала обращается к ним с просьбой дать экспертную оценку статье либо помочь организовать рецензирование.

Рецензии для журнала «Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии» составляются по единой схеме и подразумевают оценку по следующим критериям: соответствие тематике журнала, оригинальность и значимость результатов, качество изложения материала.

Заполненный бланк рецензии высылается на электронный адрес редакции. В зависимости от экспертных заключений статья может быть принята редакционным советом к опубликованию, рекомендована автору к доработке (с последующим повторным рецензированием либо без него) или отклонена (с предоставлением автору мотивированного отказа). Автору на электронный адрес высылается текст рецензии без указания ФИО рецензента и его контактных данных.

Все рецензии хранятся в редакции журнала не менее 5 лет. Редколлегия журнала обязуется при поступлении соответствующего запроса направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.