

# **Вики системы по теоретико-графовым моделям и методам в информатике и программировании**

**В.Н. Касьянов, Е.В. Касьянова**

*Институт систем информатики имени А.П. Ершова СО РАН*

**Аннотация.** Теория графов из академической дисциплины все больше превращается в средство, владение которым становится решающим для успешного применения компьютеров во многих прикладных областях. Несмотря на наличие обширной специальной литературы по решению задач на графах, широкое применение в практике программирования полученных математических результатов затруднено в силу отсутствия систематического их описания, ориентированного на программистов. Поэтому значительный класс практических задач, по существу сводящихся к простому выбору подходящего способа решения и к построению конкретных формулировок абстрактных алгоритмов, для многих программистов все ещё остаётся полем для интеллектуальной деятельности по «переоткрытию» известных методов. Статья посвящена разрабатываемым в Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН цифровому вики словарю WikiGRAPP по теории графов и её применениям в информатике и программировании и цифровой вики энциклопедии WEGA теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования.

**Ключевые слова:** теоретико-графовые модели, теоретико-графовые методы, программирование, информатика, цифровой вики словарь, цифровая вики энциклопедия

## **Wiki systems on graph-theoretic models and methods in computer science and programming**

**V.N. Kasyanov, E.V. Kasyanova**

*A.P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS*

**Abstract.** Graph theory is increasingly turning from an academic discipline into a tool, mastery of which is becoming decisive for the successful use of computers in many applied areas. Despite the existence of extensive specialized

literature on solving problems on graphs, the widespread use of the obtained mathematical results in programming practice is difficult due to the lack of a systematic description of them oriented towards programmers. Therefore, a significant class of practical problems, essentially reduced to a simple choice of a suitable solution method and to the construction of specific formulations of abstract algorithms, for many programmers still remains a field for intellectual activity in the «rediscovery» of known methods. The paper is devoted to the digital wiki dictionary WikiGRAPP on graph theory and its applications in computer science and programming and the digital wiki encyclopedia WEGA of graph-theoretical algorithms for solving computer science and programming problems, being developed at the A.P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS.

**Keywords:** graph-theoretic models, graph-theoretic methods, programming, computer science, digital wiki dictionary, digital wiki encyclopedia

## 1. Введение

Современное программирование невозможно представить себе без применения теоретико-графовых моделей и методов. Хорошо известно, что многие задачи повышения эффективности и надёжности конструирования программ с использованием языков высокого уровня и трансляторов были сформулированы и решены как задачи на графах. Сюда относятся в первую очередь задачи, связанные с представлением алгоритмов, программ и систем в виде теоретико-графовых моделей.

Роль теоретико-графовых методов в программировании существенно возросла в последние годы в связи с появлением параллельных компьютеров и сетей, а также таких новых предметных областей, как Web-графы, социальные сети, семантический Web, базы знаний, сети белок-белковых взаимодействий, библиографические сети и многие другие.

Теория графов из академической дисциплины все больше превращается в средство, владение которым становится решающим для успешного применения компьютеров во многих прикладных областях. Поэтому не случайно, что в лаборатории конструирования и оптимизации программ Института систем информатики СО РАН им. А.П. Ершова с момента её создания в 1990 году ведутся исследования методов и средств повышения эффективности и надёжности конструирования программ и систем на основе теоретико-графовых моделей и методов (см., например, [1 – 3]).

Одним из важных направлений этих работ является разработка методов и средств поддержки применения теоретико-графовых методов в программировании. В рамках этого направления была опубликована серия книг и учебных пособий по теоретико-графовым методам в информатике и программировании [4 – 10], а также ведётся работа по созданию цифрового вики словаря WikiGRAPP по теории графов и её применениям в информатике и программировании [11] и цифровой вики энциклопедии

WEGA теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования [12].

Создаваемым цифровым вики системам WikiGRAPP и WEGA поддержки применения теоретико-графовых методов в информатике и программировании и посвящена данная статья.

## 2. Цифровой вики словарь WikiGRAPP по теории графов и её применениям в информатике и программировании

В связи с активным развитием теоретико-графовых методов решения задач программирования и информатики, а также с их постоянным расширением на новые предметные области проблема терминологии является одной из основных проблем в применении теоретико-графовых методов в программировании и информатике.

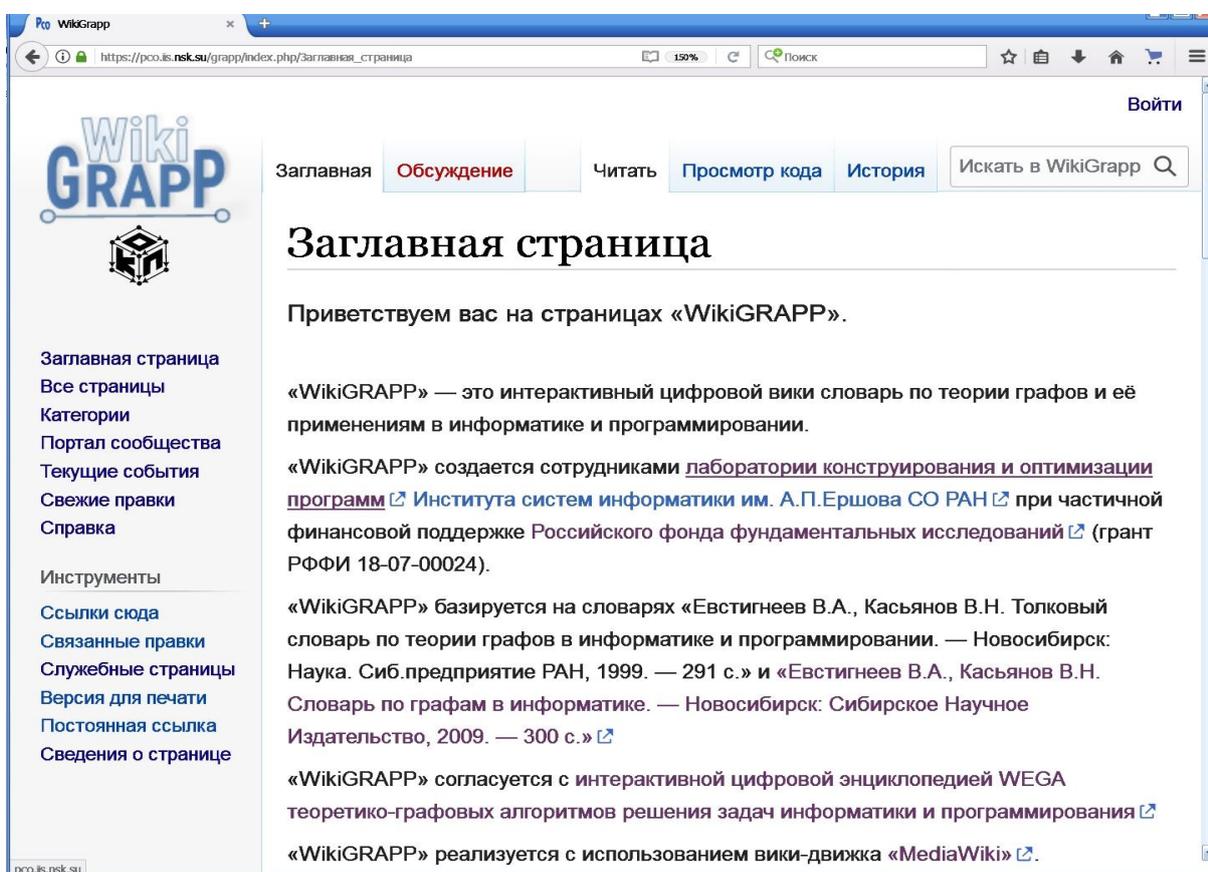


Рис. 1. Заглавная страница словаря WikiGRAPP

Создаваемый в ИСИ СО РАН расширяемый цифровой вики словарь WikiGRAPP (см. рис. 1) по графам в информатике и программировании призван если не решить проблему терминологии, то значительно её облегчить. Для его создания была использована MediaWiki [13] — написанное на препроцессоре гипертекста (PHP) свободно распространяемое программное обеспечение, предназначенное для

поддержки гипертекстовой среды «вики» (wiki) — такого веб-сайта, структуру и содержимое которого пользователи могут сообща изменять с помощью инструментов, предоставляемых самим сайтом.

В основу вики словаря WikiGRAPP были положены две книги [5, 6].

Первая книга — это опубликованный в издательстве «Наука» в 1999 году словарь [5], предварительная версия которого была издана в 1995-96 годах тремя выпусками в Новосибирском государственном университете. Это был первый словарь по теории графов в информатике и программировании, и он вызвал большой интерес среди читателей. Вторая книга [6] — это опубликованная в Сибирском Научном Издательстве в 2009 году исправленная и расширенная английская версия словаря 1999 года, которая включила в себя дополнительно более 1000 новых терминов из статей, рефераты которых публиковались в РЖ «Математика» в разделе «Теория графов».

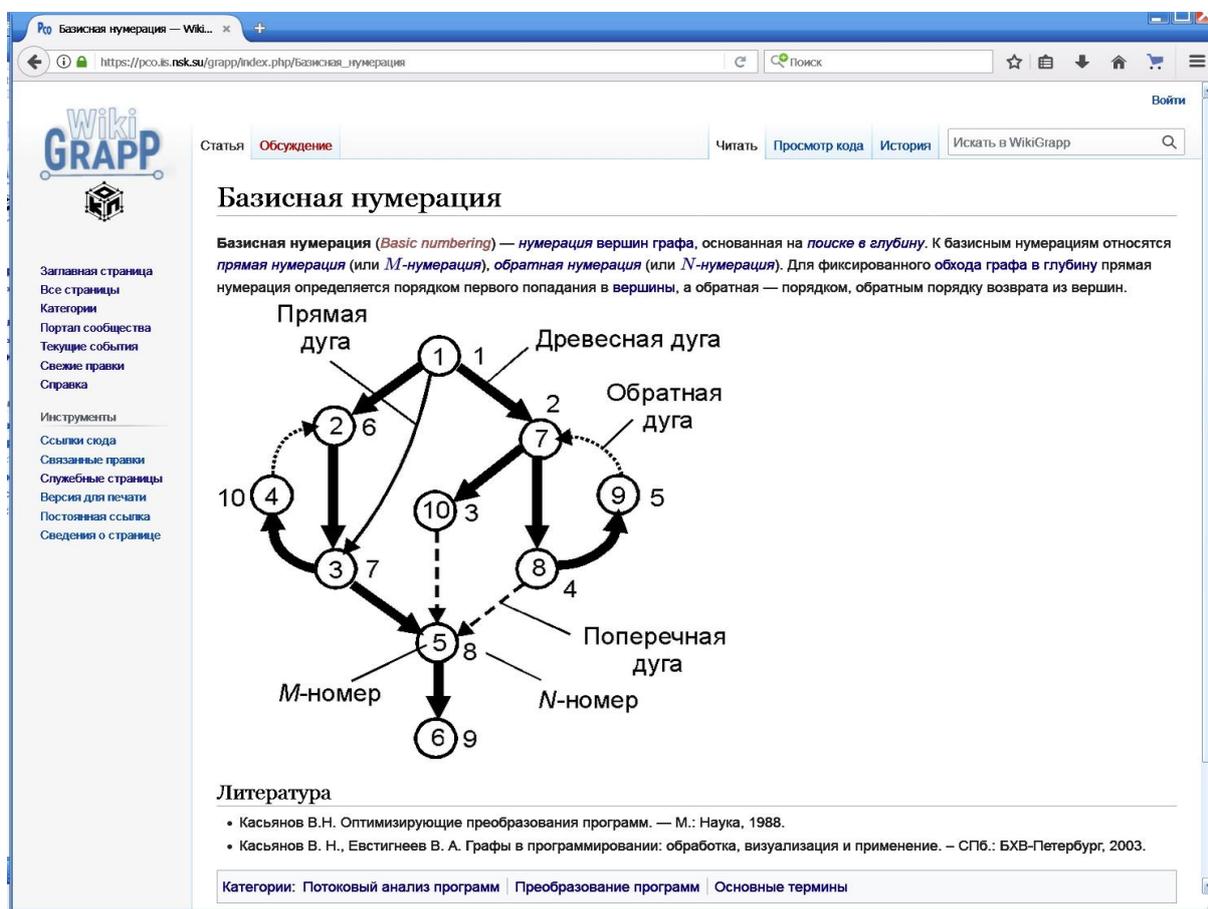


Рис. 2. Страница словаря WikiGRAPP о базисных нумерациях

В словаре 1999 года были собраны теоретико-графовые термины из таких известных монографий по теории графов, как книги Ф. Харари, К. Бержа, О. Оре, А. А. Зыкова и др., а также из доступных для отечественного читателя книг по информатике и программированию, с

указанием источника и вариантов. Кроме описаний собственно теоретико-графовых терминов в словарь были включены также необходимые для их понимания термины из программирования, комбинаторного анализа, прикладной алгебры и исследования операций, что расширяло круг пользователей словаря.

Статьи словаря 1999 года [5] были снабжены иллюстрациями, перекрестными ссылками и ссылками на доступную литературу. Русские термины в словаре сопровождались их английскими эквивалентами, что позволяло использовать книгу как русско-английский словарь, а прилагаемый к статьям словаря краткий англо-русский словарь был призван помочь при чтении англоязычной литературы. Последнее, на взгляд авторов, может препятствовать размножению вариантов используемых в литературе русских эквивалентов английских терминов.

Приведённые выше свойства словаря 1999 года не только сохранились в создаваемом цифровом словаре WikiGRAPP (см. рис. 2), но и усилились за счёт использования в цифровом словаре гипертекстовых ссылок и категорий, присущих вики системам, а также за счёт включения в него всех статей на английском языке из словаря 2009 года [6].

При отборе терминов для словаря 1999 года авторы действовали следующим образом.

В качестве основного было выбрано множество понятий, представленных в известной монографии [14], как наиболее полного и доступного для отечественного читателя издания по теории графов. Затем оно было пополнено терминами из других отечественных и переводных книг по теории графов, а также из монографий по информатике и программированию, существенно использующих методы теории графов, таких как, например, [4, 8, 15].

Чтобы как-то уменьшить разрыв между терминологией монографий и ещё не успевшей попасть в монографии терминологией, словарь был расширен за счёт тех терминов, которые встречаются в докладах на ежегодной конференции «Graph Theory Concepts in Computer Science» и в книгах серии «Graph Theory Notes of New York».

В дальнейшем существующий разрыв между терминологией монографий и терминологией, используемой в статьях, ещё более был сокращён в английской версии словаря [6] за счёт включения в него более 1000 новых терминов из докладов конференций и журнальных статей, опубликованных в ведущих по данной тематике журналах («Discrete Mathematics», «Journal of Graph Theory» и др.), рефераты которых публиковались в РЖ «Математика» в разделе «Теория графов».

При этом, при включении в словарь того или иного термина из статьи или доклада делалась в соответствующей статье словаря лишь общая ссылка на название журнала или конференции с данной публикацией.

Начальная версия цифрового вики словаря WikiGRAPP, покрывающая печатные издания [5, 6], прошла государственную регистрацию в 2013 году [17], и до настоящего времени разработчиками словаря ведётся постоянная работа по его пополнению и совершенствованию.

### 3. Цифровая вики энциклопедия WEGA теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования

Также с использованием MediaWiki [13] в ИСИ СО РАН создаётся ещё и другая ориентированная на поддержку графов в программировании вики система (см. рис. 3) — расширяемая интерактивная цифровая энциклопедия WEGA теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования [12].

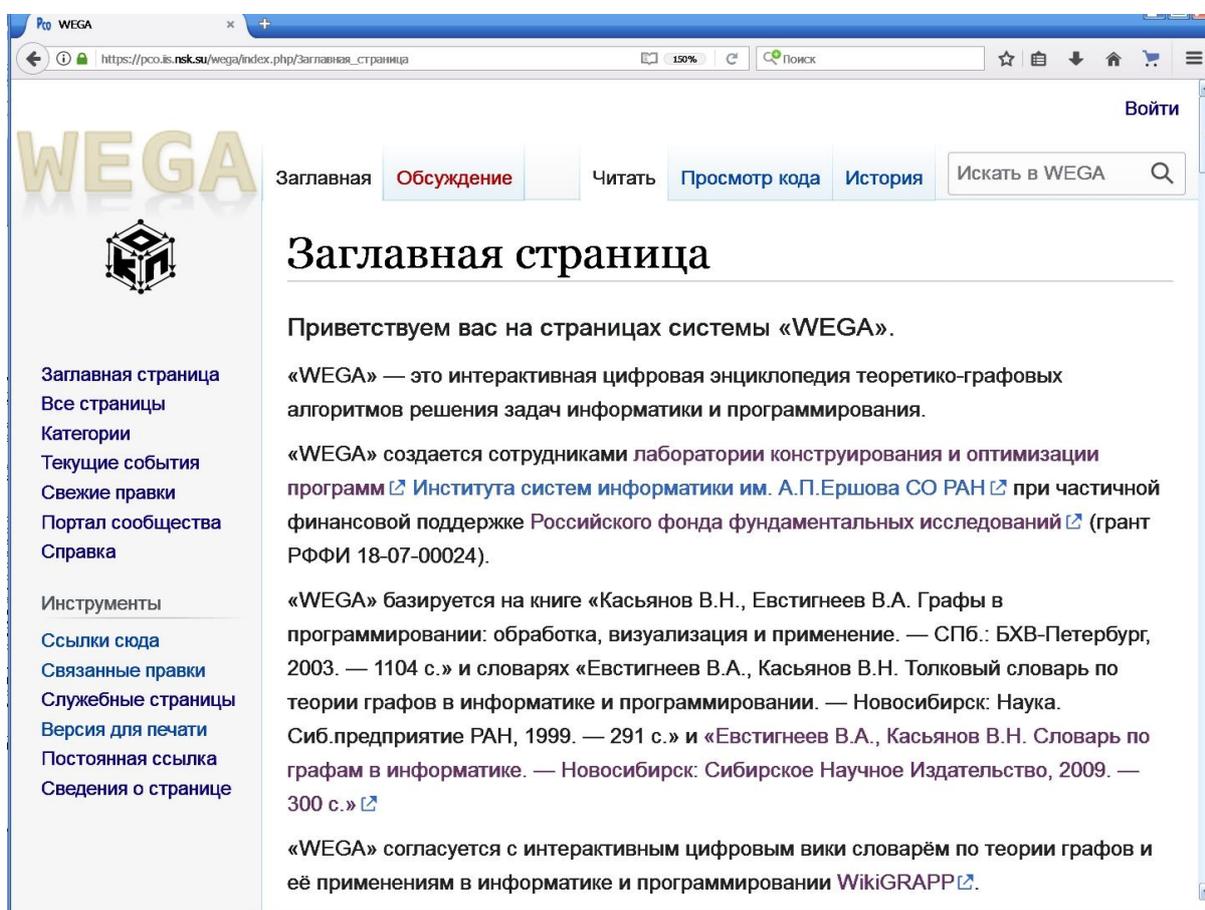


Рис. 3. Заглавная страница энциклопедии WEGA

В отличие от монографий Д. Кнута [16], содержащих низкоуровневое (в терминах машины MIX) описание алгоритмов, цифровая энциклопедия WEGA, равно как и книга [5], на которой она базируется, ориентируется на абстрактную модель современных компьютеров (равнодоступная адресная

машина — РАМ) и высокоуровневое описание алгоритмов в терминах специального языка высокого уровня (ВУ-язык).

По существу, ВУ-язык является псевдоязыком (лексиконом) программирования и содержит в качестве базовых традиционные конструкции языков программирования, для каждой из которых фиксируется класс её допустимых реализаций на РАМ. Предполагается также, что ВУ-язык наряду с базовыми конструкциями позволяет использовать любые необходимые конструкции, если очевидны или заранее зафиксированы оценки их сложности, а также те реализации этих конструкций на РАМ, которые допускают такие оценки. В частности, наряду с обычными для современных языков типами простых и составных данных ВУ-язык допускает использование таких более сложных структур данных, как, например, деревья и графы (см. рис. 4).

Такой подход позволяет формулировать алгоритмы в естественной форме, допускающей прямой анализ их корректности и сложности, а также простой перенос сформулированных алгоритмов на реальные языки программирования и компьютеры с сохранением полученных оценок сложности.

WEGA

Статья **Обсуждение** Читать **Просмотр кода** История Искать в WEGA

## Коды Прюфера

Пусть  $T$  - дерево с множеством вершин  $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ . Будем считать, что номер вершины  $v_i$  равен  $i$ . Сопоставим дереву  $T$  последовательность  $[a_1, a_2, \dots, a_{n-2}]$  называемую **кодом Прюфера**, по следующему правилу:

```

функ КОД_ПРЮФЕРА ( $T$ : дерево) =
1. Пусть  $n$  - число вершин в  $T$ ,
   а  $A$  - целочисленный вектор длины  $n-2$ ;
2.  $V := [1 : n]$ ;
3. для  $i$  от 1 до  $n-2$  цикл
4.    $b := \min\{k \in V; k \text{ - номер висячей вершины}\}$ ;
5.    $A[i] := \text{номер вершины, смежной вершине с номером } b$ ;
6.    $V := V - \{b\}$ ;
7.   Удалить из  $T$  вершину с номером  $b$ 
всё;
8. возврат  $A$ 
всё

```

Рассмотрим седующий пример. Для дерева  $T$  (рис.) код Прюфера имеет вид:  
 $P_2(T) = [4, 4, 4, 5, 5, 7, 7]$ .

Рис. 4. Страница энциклопедии WEGA о кодах Прюфера

Начальная версия вики энциклопедии WEGA прошла государственную регистрацию в 2013 году [18], и до настоящего времени разработчиками энциклопедии ведётся постоянная работа по её пополнению и совершенствованию. И хотя энциклопедии WEGA согласуется со словарём WikiGRAPP, обе системы создаются как полностью независимые и содержат гиперссылки друг на друга только в заглавных страницах. В отличие от энциклопедии, которая ориентируется главным образом на системных и прикладных программистов, словарь предназначен для всех тех, кто связан с использованием теоретико-графовых методов при решении своих задач. Поэтому у словаря значительно более широкий круг пользователей и существенно большая посещаемость, чем у энциклопедии. С этим связано в частности то, что, как правило, при запросах по графовой тематике многие браузеры выдают в первой порции ссылку на словарь, а не на энциклопедию, а также то, что статьи словаря как по размеру, так и по структуре существенно уступают статьям энциклопедии.

### **Заключение**

Рассмотренные в данной статье цифровой словарь WikiGRAPP [11] и цифровая энциклопедия WEGA [12] находятся в открытом доступе в сети Интернет, начиная с 1999 года. Всё это время они вместе с опубликованными разработчиками систем книгами и учебными пособиями [4 – 10] успешно применяются в учебном процессе Новосибирского госуниверситета, в частности в рамках годового спецкурса «Графы в программировании». При этом, править статьи словаря и энциклопедии до сих пор могут только сотрудники лаборатории, причём, далеко не все, а среди тех, кто это может делать, есть и такие, которым разрешено менять содержимое только одной из этих систем. Поэтому речь в статье идёт о создании авторских пилотных версий вики словаря и вики энциклопедии, перевод которых в вики системы «общего пользования» хотя возможен и планируется, но потребует решения непростых вопросов организации модерации.

Основная идея, на которую опирается создание словаря WikiGRAPP и энциклопедии WEGA, состоит в том, что основные свойства самих теоретико-графовых моделей и алгоритмов никак не зависят от вычислительных систем и языков программирования, используемых сейчас и в будущем. И с этой точки зрения абстрактное описание свойств моделей и алгоритмов имеет очень высокую самостоятельную ценность.

Начальные версии словаря WikiGRAPP и энциклопедии WEGA прошли государственную регистрацию в 2013 году [17, 18], и до настоящего времени разработчики систем продолжают их совершенствовать и пополнять, добавляя примерно по 6 новых терминов в месяц. Поэтому как весь словарь или всю энциклопедию целиком, так и каждую отдельную статью словаря или энциклопедии можно отнести к так называемым живым

публикациям [19]. В 2024 году системы (словарь и энциклопедия) суммарно подвергались в среднем 3 изменениям в день, и к настоящему времени каждая из систем стала содержать порядка 5 тысяч статей.

Создан программный комплекс Wiki2TeX [20], поддерживающий работу со словарём и энциклопедией. Он позволяет строить набор TeX-документов, образующих оффлайн версию базы данных вики, построенной с помощью MediaWiki, а также выполнять и обратную операцию — преобразовывать TeX-документы в статьи MediaWiki и добавлять их к заданной вики.

В начале 2025 года вышел «Англо-русский словарь по графам для программиста» [21], который отражает текущее состояние словаря WikiGRAPP и энциклопедии WEGA и дополнительно охватывает более 1000 новых терминов по сравнению с соответствующей частью словаря [7], подготовленного на базе этих систем в 2011 году. Готовится к изданию также «Русско-английский словарь по графам для программиста».

На основе атрибутированных иерархических графов с портами [22, 23, 24] начаты работы по разработке методов и средств поддержки наглядной визуализации графовых моделей большого размера и полноценной динамической визуализации графовых моделей и алгоритмов, представленных в словаре и энциклопедии. На наш взгляд, возможность визуализировать графовую модель, а также наблюдать за процессами её функционирования и работы алгоритма на этой модели через динамику её изменений позволит программисту быстрее и глубже понять на конкретных примерах смысл модели и алгоритма. И в этом плане динамическую визуализацию функционирования графовой модели и работы графового алгоритма нельзя заменить никакими текстовыми описаниями и пояснениями. При этом, на наш взгляд, возможность пользователя управлять не только процессом просмотра анимации (например, останавливать её, менять скорость показа, просматривать процесс анимации как вперед, так и назад), но и процессом самой динамической визуализации (например, изменять входную графовую модель, её промежуточный вид, а также множество демонстрируемых событий и их визуальные представления) в большинстве случаев может существенно упростить пользователю задачу понимания графовых моделей и алгоритмов, а также оценку их применимости для решения его конкретных задач. Однако, к сожалению, все наши попытки получить от РНФ финансовую поддержку на расширение словаря и энциклопедии возможностями создания и поддержки интерактивных иллюстраций пока не увенчались успехом.

Авторы благодарны всем коллегам, которые принимали участие в работах, рассмотренных в статье.

## Литература

1. Касьянов В.Н. Применение графов в программировании // Программирование. — 2001, № 3. — С. 51–70.
2. Касьянов В.Н., Касьянова Е.В. Теоретико-графовые методы и системы программирования // Проблемы информатики. — 2016. — № 1. — С. 26–38.
3. Касьянов В.Н., Касьянова Е.В. Методы и технологии конструирования эффективных и надёжных программ и программных систем на основе графовых моделей и семантических преобразований // Системная информатика. — 2021. — № 19. — С. 1–14.
4. Евстигнеев В.А. Применение теории графов в программировании. — М.: Наука, 1985.
5. Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. Толковый словарь по теории графов в информатике и программировании. — Новосибирск: Наука, 1999.
6. Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. Словарь по графам в информатике. — Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2009.
7. Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. Русско-английский и англо-русский словарь по графам в информатике. — Новосибирск: Сибирское Научное Издательство, 2011.
8. Касьянов В.Н. Оптимизирующие преобразования программ. — М.: Наука, 1988.
9. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
10. Касьянов В.Н., Касьянова Е.В. Визуализация информации на основе графовых моделей. — Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2014.
11. WikiGRAPP — <https://pco.iis.nsk.su/grapp/>
12. WEGA — <https://pco.iis.nsk.su/wega/>
13. MediaWiki — <http://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/ru/>
14. Лекции по теории графов / В.А. Емеличев [и др.]. — М.: Наука, 1990.
15. Ершов А.П. Введение в теоретическое программирование (беседы о методе). — Новосибирск: Наука, 1977.
16. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. — М.: Мир, 1976. — Т.1; 1977. — Т.2; 1978. — Т.3.
17. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А., Касьянова Е.В. Электронный словарь WikiGRAPP по теории графов и её применениям в информатике и программировании. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620433 от 25.03.2013.
18. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А., Касьянова Е.В. Электронная энциклопедия WEGA теоретико-графовых алгоритмов решения задач информатики и программирования. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620463 от 01.04.2013.
19. Горбунов-Посадов М.М. Жизнь как форма существования научной публикации // Научный сервис в сети Интернет: труды XXVI

- Всероссийской научной конференции (23-25 сентября 2024 г., онлайн). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2024. — С. 50–56.
20. Касьянов В.Н., Касьянова Е.В., Малышев А.А. Программный комплекс Wiki2Тех. Свидетельство о государственной регистрации программы № 2016616426 от 01.04.2016.
  21. Касьянов В.Н., Касьянова Е.В. Англо-русский словарь по графам для программиста. — Новосибирск: СО РАН, 2025.
  22. Касьянов В.Н., Золотухин Т.А. Программная система для визуализации сложных больших данных на основе графовых моделей (Visual Graph). Свидетельство о государственной регистрации программы № 2017612824 от 03.03.2017.
  23. Касьянов В.Н., Золотухин Т.А., Гордеев Д.С. Методы и алгоритмы визуализации графовых представлений функциональных программ // Программирование. — 2019. — № 4. — С. 19–27.
  24. Касьянов В.Н. Методы и средства визуализации информации на основе атрибутированных иерархических графов с портами // Сибирский аэрокосмический журнал. — 2023. — Том 24, № 1. — С. 8–17.

### References

1. Kasyanov V.N. Graph applications in programming // Programming and Computer Software. — 2001. — Vol. 27, No. 3. — pp. 146–164.
2. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V. Graph-theoretical methods and programming systems // Problems of Informatics. — 2016. — No. 1. — pp. 26–38.
3. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V. Methods and technologies for constructing efficient and reliable programs and software systems based on graph models and semantic transformations // System informatics. — 2021. — No. 19. — pp. 1–14.
4. Evstigneev V.A. Application of graph theory in programming. — М.: Nauka, 1985.
5. Evstigneev V.A., Kasyanov V.N. Explanatory dictionary of graph theory in computer science and programming. — Novosibirsk: Nauka, 1999.
6. Evstigneev V.A., Kasyanov V.N. Dictionary of graphs in computer science. — Novosibirsk: Siberian Scientific Publishing House, 2009.
7. Evstigneev V.A., Kasyanov V.N. Russian-English and English-Russian dictionary of graphs in computer science. — Novosibirsk: Siberian Scientific Publishing House, 2011.
8. Kasyanov V.N. Optimizing transformations of programs. - М: Nauka, 1988.
9. Kasyanov V.N., Evstigneev V.A. Graphs in programming: processing, visualization and application. — St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2003.
10. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V. Information visualization based on graph models. — Novosibirsk: Novosibirsk state University, 2014.
11. WikiGRAPP — <https://pco.iis.nsk.su/grapp/>

12. WEGA — <https://pco.iis.nsk.su/wega/>
13. MediaWiki — <http://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki/ru/>
14. Lectures on graph theory / V.A. Emelichev et all. — M.: Nauka, 1990.
15. Ershov A.P. Introduction to theoretical programming (Discussions on the method). — Novosibirsk: Nauka, 1977.
16. Knuth D. The Art of computer programming.— Moscow: Mir, 1976.— Vol. 1; 1977.— Vol. 2; 1978.— Vol. 3.
17. Kasyanov V.N., Evstigneev V.A., Kasyanova E.V. Electronic dictionary WikiGRAPP of graph theory and its applications in computer science and programming. Certificate of state registration of the database No. 2013620433 dated 25.03.2013.
18. Kasyanov V.N., Evstigneev V.A., Kasyanova E.V. Electronic encyclopedia WEGA of graph-theoretical algorithms for solving computer science and programming problems. Certificate of state registration of the database No. 2013620463 dated 01.04.2013.
19. Gorbunov-Posadov M.M. Aliveness as a form of existence of scientific publication // Scientific service on the Internet: proceedings of the XXVI All-Russian scientific conference (September 23-25, 2024, online). — M.: IPM im. M.V.Keldysh, 2024. — pp. 50-56.
20. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V., Malyshev A.A. Software package Wiki2Tex. Certificate of state registration of the program No. 2016616426 dated 01.04.2016
21. Kasyanov V.N., Kasyanova E.V. English-Russian dictionary of graphs for a programmer. — Novosibirsk: SB RAS, 2025.
22. Kasyanov V.N., Zolotukhin T.A. Software system for visualization of complex big data based on graph models (Visual Graph). Certificate of state registration of the program No. 2017612824 dated 03.03.2017.
23. Kasyanov V.N., Zolotuhin T.A., Gordeev D.S. Visualization methods and algorithms for graph representation of functional programs // Programming and Computer Software. — 2019. — Vol. 45, No. 4. — pp. 156–162.
24. Kasyanov V.N. Methods and tools for information visualization on the basis of attributed hierarchical graphs with ports // Siberian Aerospace Journal. — 2023. — Vol. 24, No. 1. — pp. 8–17.