



Факультет компьютерных наук

Департамент программной
инженерии

«TradeLink Studio»

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ
МЕЖСЕКТОРАЛЬНОЙ ТОРГОВЛИ КРУПНЕЙШИХ ЭКОНОМИК МИРА

• Индивидуальный • Программный

Исполнитель: Мищенко Александр, БПИ248

Научный руководитель: Жукова Галина Николаевна, доцент ДПИ ФКН,
кандидат физико-математических наук



Предметная область — анализ межсекторальных торгово-экономических взаимодействий крупнейших экономик мира.

Объект анализа

Структура экономических связей между секторами

Представление данных

Матрица межсекторальных связей, где:

- строки — источник взаимодействия
- столбцы — получатель
- значения — интенсивность связи

Цель анализа

Определение влияния и значимости отдельных секторов
через расчет специальных индексов







Цель проекта:

Разработка настольного программного обеспечения TradeLink Studio для автоматизированного анализа данных межсекторальной торговли крупнейших экономик мира и вычисления специализированных экономических индексов на основе табличных и матричных данных.



TradeLink Studio

Задачи проекта:

1. Проведение сравнительного анализа программных решений-аналогов в области анализа экономических данных.
2. Проектирование архитектуры ПО с разделением на отдельные самостоятельные модули.
3. Реализация функционала загрузки, хранения, редактирования и управления данными проектов.
4. Разработка алгоритмов расчета экономических индексов и их интеграция в вычислительное ядро.
5. Обеспечение импорта и экспорта данных в установленных форматах.
6. Реализация механизмов сохранения состояния, восстановления проектов и обработки ошибок.
7. Разработка пользовательского интерфейса для работы с данными и результатами вычислений.
8. Подготовка полного комплекта программной и эксплуатационной документации в соответствии с требованиями ЕСПД (ГОСТ 19).
9. Публикация исходного кода проекта в открытом доступе на платформе GitHub.



«TradeLink Studio» - программное обеспечение для анализа данных межсекторальной торговли крупнейших экономик мира

Анализ существующих решений

5



TradeLink Studio



Microsoft Excel



Python-скрипты



Gephi



Gephi Lite



Super Decisions



Expert Choice

Базовый функционал:

- создание и хранение проектов
- импорт данных
- работа с матрицами
- выполнение вычислений
- сохранение результатов
- экспорт данных

Базовый функционал является необходимым, но недостаточным условием эффективности системы.

Ключевые требования к проекту:

- Специализация на конкретных индексах (Copeland, Bundle, Pivotal)
- Модульная архитектура и расширяемость вычислительного ядра
- Гибкая настройка вычислений (нормализация, версии индексов)
- Поддержка существующего формата входных и данных
- Полная офлайн-работа
- Сохранение и повторное использование проектов

Ключевые требования к проекту выделены в результате совместной работы с коллегами с ФЭНа



Критерий	TradeLink Studio	Microsoft Excel	Python-скрипты	Gephi	Gephi Lite	Super Decisions	Expert Choice
Полная офлайн-работа	+	+	+	+	-	+	+
Работа без программирования	+	+	-	+	+	+	+
Поддержка XLSX / CSV	+	+	+	+	+	+	+
Расчёт Copeland	+	+	+	-	-	+	+
Расчёт Bundle	+	+	+	-	-	-	-
Расчёт Pivotal	+	+	+	-	-	-	-
Поддержка альтернативных версий индексов	+	+	+	-	-	-	-
Сохранение проектов	+	+	-	+	+	+	+
Модульность архитектуры	+	-	+	-	-	-	-
Возможность дальнейшего расширения	+	+	+	-	-	-	-



Анализ существующих решений показал, что каждое из них имеет существенные ограничения в рамках рассматриваемой предметной области:



TradeLink Studio



Microsoft Excel



Python-скрипты



Super Decisions



Expert Choice



Gephi



Gephi Lite

Microsoft Excel требует ручной настройки вычислений и не поддерживает специализированные индексы «из коробки», пользовательские **Python-скрипты** обеспечивают высокую гибкость, но требуют знания программирования, а такие системы, как **Gephi**, **Super Decisions** и **Expert Choice** ориентированы на иные классы аналитических задач и не обеспечивают необходимой поддержки межсекторальных матричных вычислений.



Технологический стек проекта:

- **Python 3.12** — основной язык разработки
- **PyQt5 5.15+** — графический интерфейс
- **pandas 2.2+** — обработка таблиц
- **numpy 2.0+** — матричные вычисления
- **networkx 3.4+** — работа с графами
- **openpyxl 3.1+** — импорт/экспорт XLSX
- **JSON (stdlib)** — сохранение проектов

Причина выбора стека:

Обеспечивает автономность работы, высокую скорость разработки, расширяемость системы и достаточную производительность для анализа матричных данных.





Общая идея алгоритма:

Алгоритмы основаны на анализе ориентированного взвешенного графа с использованием входящих рёбер вершин.

Для каждой вершины:

- рассматриваются входящие связи и их веса (**матрица**)
- используется пороговое значение (**quota**)
- ограничивается размер рассматриваемых подмножеств (**subset_size**)

Вычисления выполняются через перебор подмножеств входящих рёбер и оценку их вклада в структуру графа.

Subset size (k): 2 Precision: 6

Quotas:

	V1	V2	V3	V4	V5
5	3	1	1	3	

Input Matrix:

Rename Vertices Expand Matrix Shrink Matrix

	V1	V2	V3	V4	V5
V1	0	1	2	3	1
V2	3	0	3	4	2
V3	3	1	0	3	1
V4	2	2	0	0	3
V5	4	4	2	2	0



Copeland Index

Суть: сумма входящего влияния
вершины.

Алгоритм:

- берутся все входящие рёбра
вершины
- суммируются их веса

Формула:

$$\text{Copeland}(v) = \sum w(\text{in-edges})$$

	A	B	C
A	0	2	1
B	0	0	3
C	1	0	0
Copeland	1	2	4



Bundle Index

Суть: количество критических групп входящих связей.

Алгоритм:

- берутся все входящие рёбра вершины
- формируются все подмножества размером $1..k$
- считается сумма весов подмножества
- если сумма $\geq \text{quota}$ $\rightarrow$ группа критическая (+1 к индексу)

Пример: 3 вершины, $\text{quota} = 3$, $k = 2$

	A	B	C
A	0	0	0
B	2	0	0
C	1	0	0

Подмножества для A:

- $\{B\} = 2$ (нет)
- $\{C\} = 1$ (нет)
- $\{B, C\} = 2 + 1 = 3$ (да)

Bundle(A) = 1



Pivotal Index (обычный и взвешенный)

Суть: определение ключевых элементов внутри критических групп.

Алгоритм:

- берутся критические подмножества ($\text{sum} \geq \text{quota}$)
- проверяется каждый элемент группы
- элемент pivotal, если без него группа перестаёт быть критической

Разница версий:

- обычная: +1 за каждый pivotal случай
- взвешенная: + размер группы

Пример: 3 вершины, $\text{quota} = 3$, $k = 2$

	A	B	C
A	0	0	0
B	2	0	0
C	2	0	0

Группа {B, C}:

сумма = 4 (критическая)

без B $\rightarrow 2$ (некритическая) $\rightarrow$ B pivotal

без C $\rightarrow 2$ (некритическая) $\rightarrow$ C pivotal

Результат:

$\text{Pivotal}(A) = 2$

$\text{Pivotal}'(A) = 2 * 2 = 4$ (взвешенная)



Copeland

	V1	V2	V3
V1	0	2	1
V2	0	0	3
V3	1	0	0

	Copeland
V1	1
V2	2
V3	4



Bundle

Subset size (k): 2				
Quotas:				
	V1	V2	V3	
0	3	0	0	

	V1	V2	V3	BI (s=2)
V1	0	0	0	1
V2	2	0	0	0
V3	1	0	0	0



Pivotal (оба)

Subset size (k): 2				
Quotas:				
	V1	V2	V3	
0	3	0	0	

	V1	V2	V3	PI (s=2)	PI' (w, s=2)
V1	0	0	0	2	4
V2	2	0	0	0	0
V3	2	0	0	0	0



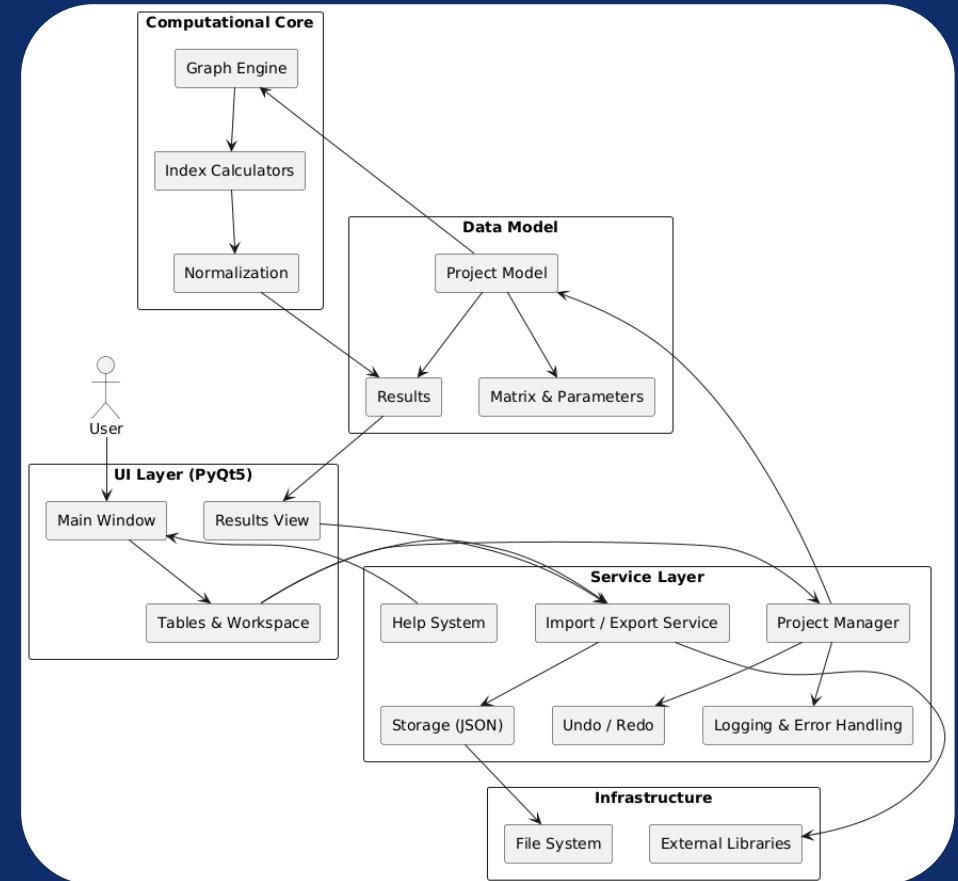


Архитектура реализована по многослойному принципу:

- **Пользовательский слой** обеспечивает взаимодействие с системой: создание и управление проектами, редактирование табличных данных, просмотр результатов и запуск расчетов.
- **Сервисный слой** координирует работу приложения: управление жизненным циклом проектов, импорт и экспорт данных, сохранение и загрузка состояния, ведение истории изменений, логирование и обработка ошибок.
- **Слой модели данных** хранит состояние проекта: матрицы, параметры расчета и результаты вычислений. Он обеспечивает единое представление данных для всех подсистем.
- **Вычислительное ядро** выполняет обработку графовой модели и расчет индексов (Copeland, Bundle, Pivotal)
- **Инфраструктурный слой** обеспечивает работу с файловой системой и внешними библиотеками.

Поток обработки данных последовательный:

ввод через UI → обработка сервисами → обновление модели → вычисления в ядре → возврат результатов в интерфейс → экспорт

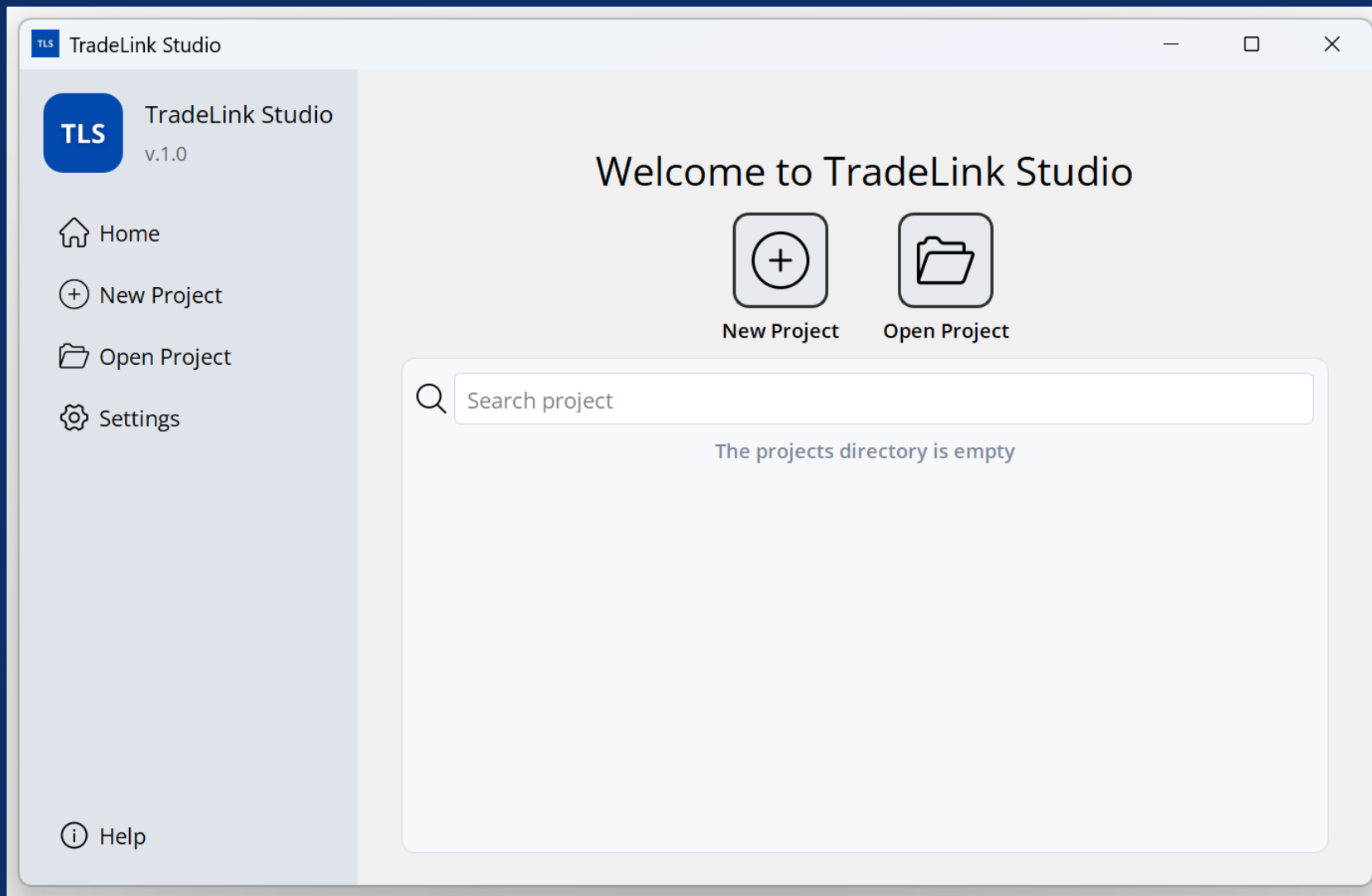




«TradeLink Studio» - программное обеспечение для анализа данных межсекторальной торговли крупнейших экономик мира

Интерфейс. Главное меню (Первый запуск)

15





TLS Tradelink Studio - Untitled_1

Calculate indices

Empty project | Vertices: 3

Subset size (k): Precision:

Quotas:

	V1	V2	V3
0	0	0	0

Input Matrix:

Rename Vertices

Expand Matrix

Shrink Matrix

	V1	V2	V3
V1	0	0	0
V2	0	0	0
V3	0	0	0

Calculated Indices:

Show/Hide PI's weighted version

Show/Hide normalized columns



TradeLink Studio - Untitled_1

Calculate indices

Calculating indices...

Subset size (k): 16 Precision: 6

Quotas:

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	v17
0	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	

Input Matrix:

Rename Vertices

Expand Matrix

Shrink Matrix

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12	v13	v14	v15	v16	v17
v1	0	12	1.2	7.1	15.5	4.7	12.6	8.2	2.7	8.9	14.7	15.9	14.1	4.8	7.7	6	16.1
v2	3	0	15.2	4.7	11.1	4	7.9	0	4.7	0.6	10.2	2.9	8.2	11.6	0	0.4	1.7
v3	15.6	0.5	0	2.8	9.9	2.6	16.8	10.4	14.1	4.3	3.1	1.4	15.6	4	6.3	4.8	0.9
v4	16.9	9.4	5.5	0	3.7	6	16.2	10.4	9.7	11.3	15.4	5.1	8.9	2.3	10.8	7.4	2.9
v5	10.5	7.5	15.1	11.3	0	12.2	15.5	1.6	5.5	10.4	10.4	4.3	6.6	9.9	8.8	8.1	14
v6	15.9	7.4	8.2	6.7	0.3	0	0.4	5	8.1	9.1	3.1	8.4	8	2.3	12.5	15.9	7.2
v7	11.6	8.2	4.4	0.7	0.5	12.7	0	14.4	15.1	2.8	7.1	7.9	16.7	9.7	5.6	9.7	1.6
v8	9.7	15.5	10.3	14.7	4.5	11.7	12.4	0	10.7	14.9	8.2	9.8	10.3	4.1	15.2	14.2	15.5
v9	6.9	15.8	4.1	10.8	4.9	11.2	12.9	4	0	16.5	6.9	9.4	7.8	10.8	12.8	1.7	1.9
v10	8.7	15.7	1.5	9.8	1.2	7.8	4.8	7.2	16.4	0	16.2	15	16.4	14.2	8.2	11.5	12.2
v11	4.9	11.6	4.1	16.8	7.7	8	10.3	7.6	14.8	2.4	0	1.2	1.3	12.8	3.5	5.8	10.2
v12	3.6	6.7	2.6	14.8	14.8	0.1	1	2.1	1.9	7.6	11.8	0	10.6	8.9	15	5.1	12.3
v13	3.1	14.5	15.4	7.3	2.4	14.8	11.7	7.6	2.7	7.4	12.5	7	0	2.7	12.1	2	10.3
v14	9.4	12.2	15.3	7.7	11.5	8.7	4.1	6.3	16.5	3.9	16.4	14.1	11	0	10.8	3.1	2.5
v15	3.9	16.1	16.5	11.4	2.1	4.7	0.6	15.5	9.8	16.6	7.8	10.1	6.8	14.9	0	6.1	9.5
v16	14.2	9.8	9.1	7.5	6.1	9.4	12.1	11.7	1.5	4.6	12.7	12.6	7.3	4.5	16.6	0	5.5
v17	9.8	4.3	0.8	10	14.8	3.4	2.8	1.1	14.9	3	4.6	9.7	14.9	8.9	11.7	5.4	0

Calculated Indices:

Show/Hide PI's weighted version

Show/Hide normalized columns

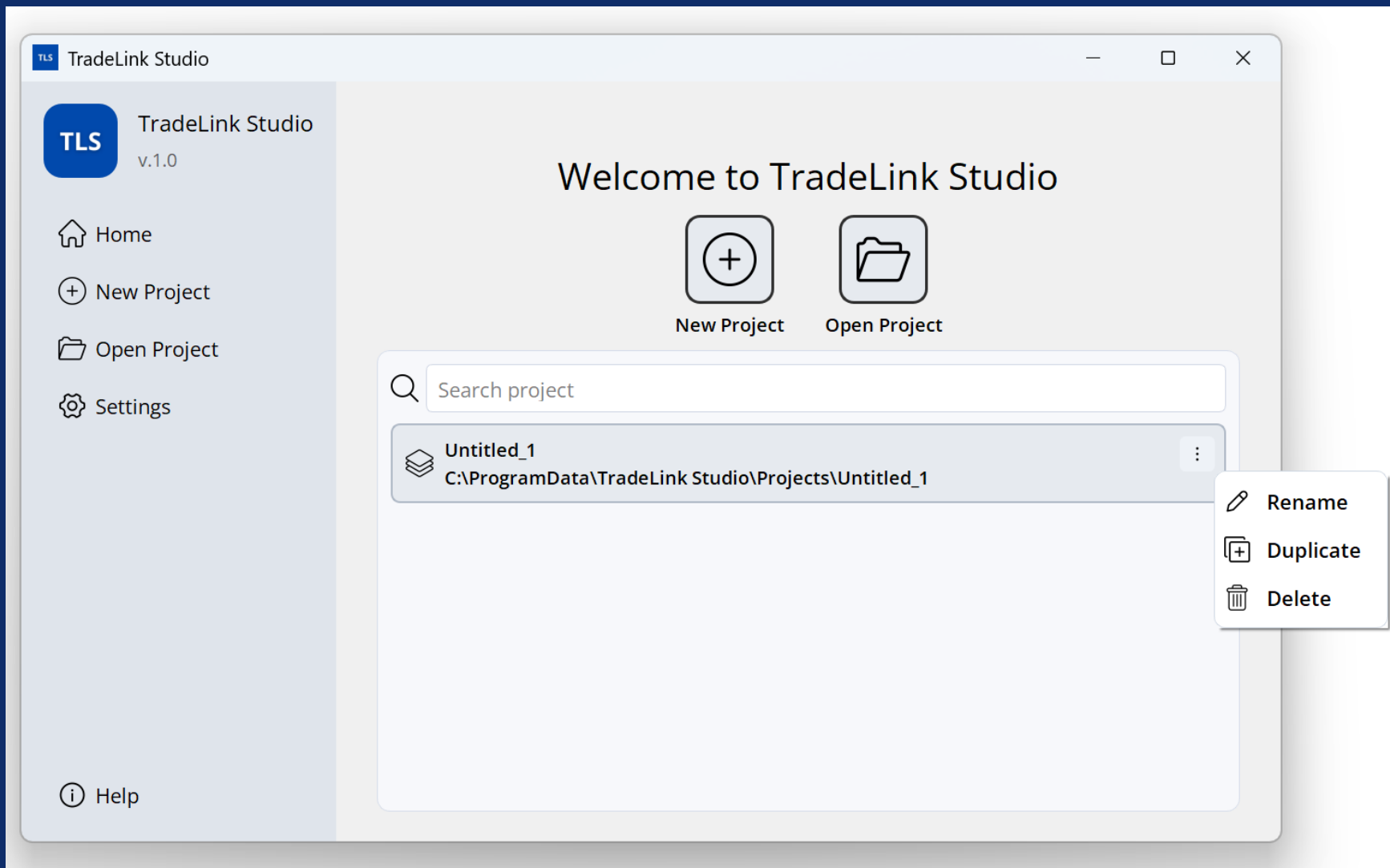
	Copeland	BI (s=16)	PI (s=16)	PI' (w, s=16)	Copeland (norm)	BI (s=16) (norm)	PI (s=16) (norm)	PI' (w, s=16) (norm)
v1	147.7	65518	234	599	0.063505	0.062524	0.029239	0.022781
v2	167.2	65524	160	380	0.071889	0.06253	0.019993	0.014452
v3	129.3	65463	808	2874	0.055594	0.062472	0.100962	0.109303
v4	144.1	65518	234	595	0.061957	0.062524	0.029239	0.022629
v5	111	65402	1366	5437	0.047726	0.062414	0.170686	0.206777
v6	122	65496	484	1458	0.052455	0.062503	0.060477	0.05545
v7	142.1	65484	570	2027	0.061097	0.062492	0.071223	0.07709
v8	113.1	32731	411	1231	0.048628	0.031235	0.051356	0.046817
v9	149.1	65505	370	1139	0.064107	0.062512	0.046233	0.043318
v10	124.3	65487	589	1856	0.053444	0.062495	0.073597	0.070586
v11	161.1	65525	150	333	0.069266	0.062531	0.018743	0.012664
v12	134.8	65511	313	890	0.057959	0.062518	0.03911	0.033848
v13	164.5	65524	166	368	0.070728	0.06253	0.020742	0.013996
v14	126.4	65501	451	1328	0.054347	0.062508	0.056354	0.050506
v15	157.6	32761	101	201	0.067762	0.031264	0.01262	0.007644
v16	107.2	65470	774	2509	0.046092	0.062479	0.096714	0.095421
v17	124.3	65460	822	3069	0.053444	0.062469	0.102711	0.116719



«TradeLink Studio» - программное обеспечение для анализа данных межсекторальной торговли крупнейших экономик мира

Интерфейс. Главное меню (Повторный запуск)

18

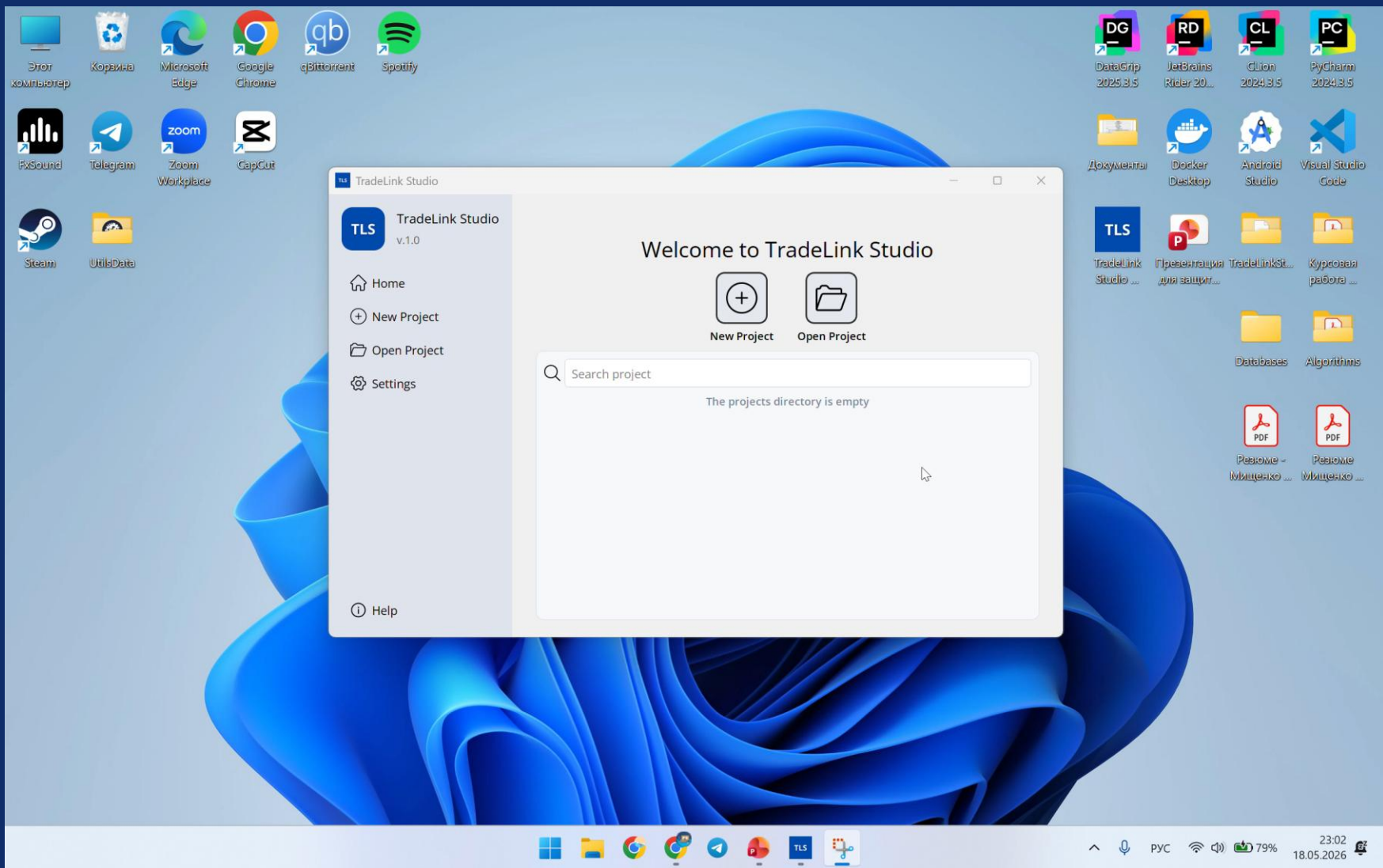




«TradeLink Studio» - программное обеспечение для анализа данных межсекторальной торговли крупнейших экономик мира

Демонстрация работы

19





Основные результаты и выводы

- Разработано настольное приложение для анализа межсекторальной торговли, реализующее полный цикл работы с данными: импорт, редактирование, вычисление индексов, сохранение и экспорт результатов.
- Реализованы алгоритмы расчёта индексов Copeland, Bundle, Pivotal. Построена модульная архитектура, обеспечивающая расширяемость и дальнейшее развитие вычислительного ядра.
- Проведённый сравнительный анализ показал, что разработанное решение сочетает вычислительную гибкость, удобство использования и автономность работы.

Практическая значимость работы

Разработанное ПО используется на ФЭН НИУ ВШЭ для решения прикладных задач анализа межсекторальных экономических данных, проведения вычислительных экспериментов и сопровождения исследовательской деятельности.

Программный продукт позволяет существенно сократить время расчётов, снизить вероятность ошибок и повысить воспроизводимость результатов.





«TradeLink Studio» - программное обеспечение для анализа данных
межсекторальной торговли крупнейших экономик мира

Результаты

21



GitHub репозиторий



Релиз версия проекта



Дальнейшее развитие проекта:

- Расширение набора индексов и развитие вычислительного ядра
- Улучшение интерфейса (тёмная тема, локализация)
- Добавление пресетов параметров расчёта
- Расширение возможностей таблиц (массовое редактирование, копирование диапазонов)
- Автосохранение и восстановление после сбоев
- Режим «только чтение» для больших данных с повышением производительности





СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Microsoft Corporation. Microsoft Excel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.microsoft.com/excel> (дата обращения: 12.05.2026).
2. Python Software Foundation. Python Programming Language [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.python.org> (дата обращения: 12.05.2026).
3. Gephi Consortium. Gephi – The Open Graph Viz Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gephi.org> (дата обращения: 12.05.2026).
4. Institute for Operations Research and the Management Sciences. Super Decisions Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.superdecisions.com> (дата обращения: 12.05.2026).
5. Expert Choice Inc. Expert Choice Decision Making Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://expertchoice.com> (дата обращения: 12.05.2026).
6. Gephi Consortium. Gephi Lite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gephi.org/gephi-lite> (дата обращения: 12.05.2026).
7. Aleskerov F., Yakuba V. Matrix-vector approach to construct generalized centrality indices in networks. SSRN 3597948 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3597948 (дата обращения: 12.05.2026).





Спасибо за внимание!

admishchenko@edu.hse.ru