

Проектная деятельность студентов на примере работы «Состоятельные меры статистической зависимости в исследовании динамики связанных временных рядов»

О.В. Стукач^{1,2}, О.А. Кожемяк³

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

³ООО «Мехатроника-Томск», Томск, Россия

Аннотация – На примере реального студенческого проекта рассмотрены результаты проектно-ориентированного обучения. Основанный на проектах метод обучения изменяет его содержание и инженерную практику. Он способен объединить любознательность, интерес и исследовательские способности студентов, а также повысить способность анализировать и решать реальные задачи. Выявлен и обсуждён ряд проблем проектного обучения наряду с традиционной учебной деятельностью. Приведён пример выполнения реального проекта, связанного с методами анализа случайных рядов и разработкой программы сравнения рядов теплопотребления методом сходящегося перекрёстного отображения.

Ключевые слова – устройство сбора и передачи данных, сходящееся перекрёстное отображение, учёт тепловой энергии, энергоэффективность, жилое здание

I. ВВЕДЕНИЕ

Проектное обучение – это учебная деятельность, осуществляемая студентами при реализации некоторого проекта под руководством наставника. Если проект исследовательский, его содержание может и не предполагать научную новизну. Но он должен быть не слишком простым и инновационным для студентов. Как правило, проектное обучение делает содержание инженерной подготовки более исследовательским. В процессе работы над проектом познавательные и практические способности команды студентов совершенствуются на деле при анализе и решении проблем проекта.

Как отмечается в работе [1], с 1980-х годов американское правительство напрямую внедрило научные исследования в преподавание. Затем многие китайские университеты запустили исследовательские программы (Student Research Training Program, SRTP), которые значительно повысили интерес студентов к

участию в научных исследованиях и инноватике [2]. Это стимулировало чуждое мышление студентов и улучшало их способности, что в конечном итоге привело к увеличению научно-исследовательских достижений [3]. С небольшим отставанием на 20–30 лет проектное обучение стало повсеместной практикой и в российских вузах.

Основанный на проектах метод обучения изменяет его содержание и инженерную практику. Он способен объединить любознательность, интерес и исследовательские способности студентов, а также повысить способность анализировать и решать реальные задачи. Добавление проектов к традиционным дисциплинам учебного плана может не только улучшить практические навыки студентов, но и помочь им лучше понять специфику производства. Сотрудничество университета и предприятия позволяет студентам понять используемые технологии, а также процесс проектирования и внедрения реального продукта. Проектное обучение способно повысить связанность учебных предметов. В самом деле, например, изучение языков программирования само по себе не имеет смысла, если с помощью программы не решается какая-то практическая задача.

II. МЕТОДЫ

Очевидно, что студенты младших курсов не обладают всем набором профессиональных компетенций, поэтому вводить слишком много предметных знаний и профессионального содержания в проект просто опасно: студенты не справятся. Поэтому при разработке учебного проекта необходимо не только обеспечить определённую сложность и исследовательский потенциал, но и учитывать, обладают ли исполнители достаточным профессионализмом для завершения проекта. Если проект будет слишком сложным, студенты потеряют

интерес к проекту, а в дополнение ещё и уверенность в себе. Если содержание проекта будет простым, студенты не получают профессиональных умений. Создать хорошее техническое задание для проекта, таким образом, - это весьма нетривиальная задача.

В статье дан пример работы студентов направления "Информатика и вычислительная техника" над проектом повышения энергоэффективности жилых зданий. Приведено содержание проекта, результаты и показана эффективность проектного обучения.

III. СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

Идентификация систем, математической моделью которой являются прерванные короткие связанные временные ряды, часто встречается в решении важных практических задач. В связи с необходимостью повышения качества управления эта область имеет не только чисто академический интерес, и активно внедряется в практику. Большинство работ по временным рядам направлено на прогнозирование, а не на исследование свойств данных, но это важно, например, для конструирования регуляторов систем автоматического управления [4]. Предлагаемый в проекте подход связан с возможностью применения любых состоятельных мер зависимости пары случайных величин, которые обращаются в нуль тогда и только тогда, когда случайные величины независимы. Он направлен на исключение недостатков, связанных с применением корреляционных и дисперсионных мер зависимости при идентификации систем на основе линеаризованных представлений их моделей [5] и должен быть применим к коротким рядам [6].

Проект был направлен на ознакомление студентов с современными результативными методами идентификации стохастических дискретно-временных систем с белым шумом гауссовским входным процессом, разработку комплекта программ, а также решение на этой основе практических задач по учёту тепловой энергии. Необходимо было найти такую меру зависимости между двумя случайными переменными, которая позволяла бы сравнивать системы при изменении определённых параметров. Задача прогнозирования не ставилась, но нужно было найти способы сравнения пар рядов в соответствии со спецификой решаемой задачи [7].

После проведённого анализа литературных источников в качестве основного метода исследования был выбран алгоритм сходящегося перекрестного отображения (convergent cross mapping, CCM) [8]. Он основан на оценке того, насколько хорошо один ряд может быть восстановлен с использованием второго [9]. Причиной выбора была относительная простота реализации данного алгоритма и выявленные в ходе поиска программных модулей наработки по данному методу [10].

Реализация алгоритма была выполнена на языке программирования Python в среде GoogleColab. Метод исследования включал в себя построение численных коэффициентов корреляции CCM для связанных временных рядов X , Y и их анализ, построение графиков зависимостей.

В ходе работы над задачами проекта студентами была выполнена реализация алгоритма CCM в двух вариациях: теоретически обоснованной версии на основе наработок других авторов из GitHub и реализации с использованием встроенного модуля `skccm`, на которой проводилась основная масса тестов.

Алгоритм CCM предполагает:

- 1) нахождение оптимальных параметров задержки и размерности вложения;
- 2) построение лагового пространства M_X для X по найденным оптимальным параметрам;
- 3) нахождение ближайших соседей к точке лагового пространства в момент времени t ;
- 4) создание весов с использованием ближайших соседей;
- 5) Оценка Y с использованием весов $Y|M_X$;
- 6) Вычисление корреляций C_{YX} между $\bar{Y}$ и $Y|M_X$ и C_{XY} между X и $X|M_Y$.

Необходимость построения диаграмм корреляций обуславливается необходимостью увеличения плотности аттрактора при постепенном проходе по всей длине выборки, так как с ростом плотности увеличивается степень "предсказуемости". Вследствие этого один ряд может лучше свидетельствовать о динамике другого. Выходными величинами являются средние значения всех коэффициентов корреляции. На этапе поиска ближайших соседей каждый ряд разделяется на две составляющие – выборки обучения (train) и тестирования (test).

Методом CCM исследовалось влияние факторов на эффективность теплотребления дома. Для исследования были выбраны реальные ряды теплотребления домов и температуры наружного воздуха [11]. В реализованных тестах использовались такие переменные, как этажность, материал стен, площадь дома, количество устройств сбора и передачи данных (УСПД), схема теплоснабжения. Для примера на Рис. 1 приведены нормализованные к одному масштабу оси ординат ряды теплотребления и температуры для дома по адресу: г. Томск, ул. Сибирская, д. 33. Прерванность рядов объясняется отсутствием учёта вне отопительного сезона.

Коэффициент корреляции CCM можно интерпретировать как показатель эффективности теплотребления дома. Чем выше корреляция, тем более энергоэффективен дом. Во внимание принимаются только коэффициенты C_{YX} , так как исследование влияния теплотребления дома на температуру воздуха не имеет смысла. Усреднённый C_{YX} брался для 40 последних измерений, исключая первые десять для уменьшения влияния некорректных

результатов, получаемых из-за малого размера выбираемой обучающей выборки.

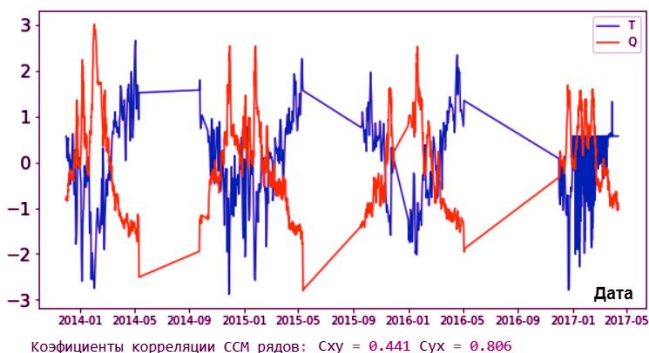


Рис. 1. Пример нормализованных рядов температуры и теплопотребления.

Для проведения классификации домов использовались выборки с примерно одинаковыми характеристиками. Ниже приведены результаты исследования эффективности зданий в зависимости от материала стен (панельные и кирпичные). Общими параметрами для всех домов были: этажность (5), площадь (~3000 м²), количество жителей (110–120). Для домов строились боксплоты, выводились сравнительные графики коэффициентов корреляции ССМ, вычислялись численные значения. По результатам исследования была подтверждена гипотеза о том, что кирпичные (Рис. 2, 3) и панельные дома (Рис. 4, 5). примерно одинаковы в эффективности теплопотребления.

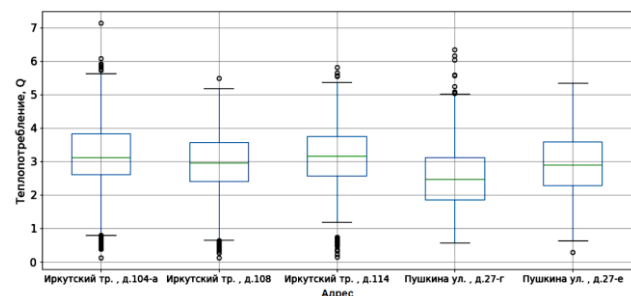


Рис. 2. Боксплоты для теплопотребления кирпичных домов (Q, Гкал).

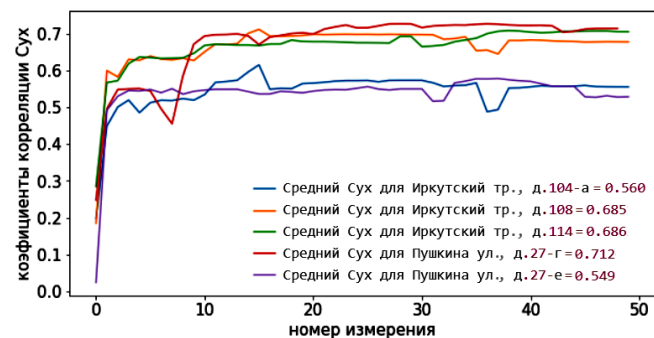


Рис. 3. Графики коэффициентов корреляции кирпичных домов.

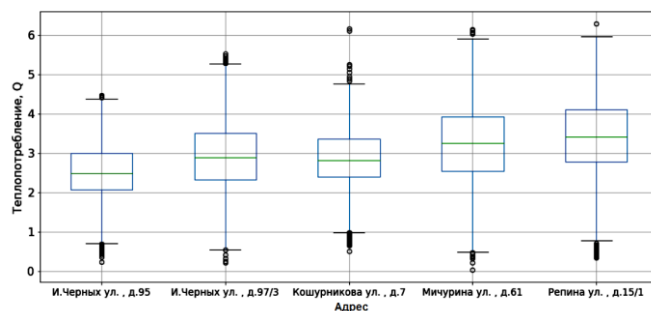


Рис. 4. Боксплоты для теплопотребления панельных домов (Q, Гкал).

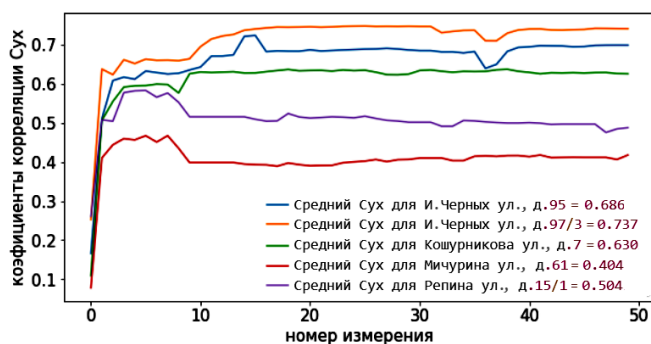


Рис. 5. Графики коэффициентов корреляции панельных домов.

Значения теплопотребления и коэффициентов корреляции изменяются примерно в одном диапазоне. Для последних двух панельных домов можно заметить, что у боксплотов чуть больше межквартирный размах, и значения коэффициентов корреляции значительно ниже.

Многоподъездные дома с большим количеством УСПД интересны для сравнения с самими собою, так как полученные результаты могут объяснить, к примеру, разные суммы в счетах за отопление для жителей одного дома при одинаковой площади. Были взяты два дома с более чем 10 подъездами (г. Томск, ул. Сибирская, д. 31; ул. Алтайская, д. 126 – см. Рис. 6-9).

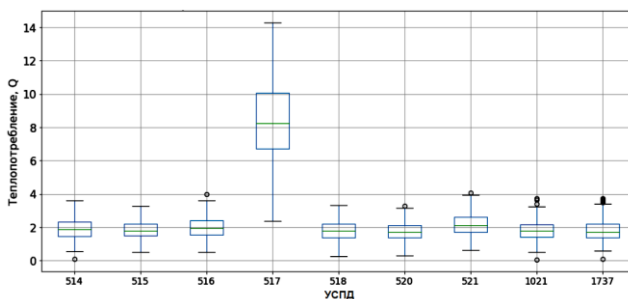


Рис. 6. Боксплоты для УСПД разных подъездов (ул. Сибирская, д. 31).

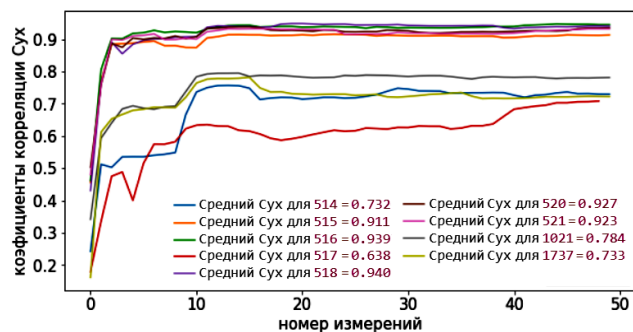


Рис. 7. Графики коэффициентов корреляции (ул. Сибирская, д. 31).

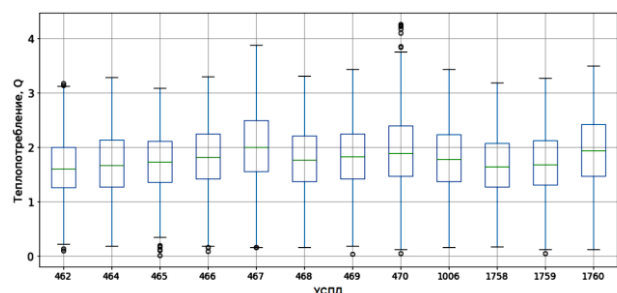


Рис. 8. Боксплоты для УСПД разных подъездов (ул. Алтайская, д. 126).

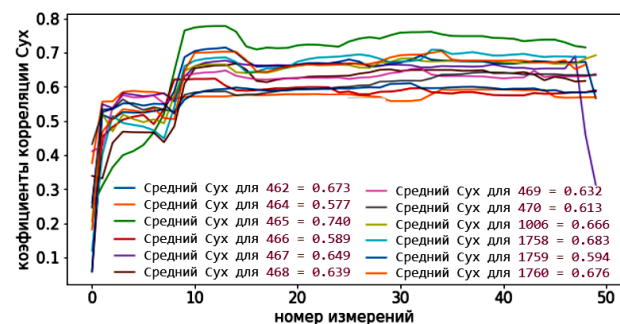


Рис. 9. Графики коэффициентов корреляции (ул. Алтайская, д. 126).

Несмотря на то, что значения Q находятся примерно в одинаковом диапазоне, значения коэффициентов корреляции сильно различаются. Это объясняется различными получаемыми параметрами оптимальной задержки и размерности вложения. С увеличением размерности аттрактора увеличивается число степеней свободы системы, т. е. количество направлений, в которых может двигаться ее фазовая траектория, а это приводит к возрастанию сложности и уменьшению предсказуемости временных рядов.

Таким образом, разные подъезды обладают разной энергоэффективностью. Это может быть связано с различными набором параметров, начиная с простых

погрешностей измерения счётчиков и заканчивая особенностями расположения подъезда на местности.

IV. ВЫВОДЫ

Проектная команда изучила методы анализа и разработала программы сравнения рядов теплопотребления методом ССМ. Одни из них направлены на глубинное понимание пользователем основ метода, другие автоматизируют обработку данных и предназначены для непосредственной работы пользователя. Все коды имеют хорошую наглядность и комментарии. Даны примеры решения практических задач по оценке энергоэффективности жилых зданий. Полученные результаты представляют интерес как для заказчика, так и для дальнейшей академической деятельности.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Студенты отметили, что проект значительно повысил их интерес к учёбе и инициативность, а также позволил более тесно связать теоретические знания с применением на практике в инженерной деятельности.

Проектно-ориентированное обучение показывает лучшие результаты по сравнению с прошлыми образовательными технологиями и, по-видимому, решает существующую проблему инженерной подготовки. Изучение содержания и методов обучения, основанных на проектах, а также выполнение сложных, исследовательских и инновационных заданий окажут значительное влияние на исследовательскую способность студентов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wang D., Yu J. New progress on the US 'Project 2061' and its enlightenment to China's science education // Education and Teaching Research. – 2019. – № 4. – Vol. 33. – Pp.43–50.
- [2] Sun R., Ma J. Plan SRT: The effective way to improve students' scientific research innovation ability // Chinese University Science and Technology. – 2013. – №.12. – Pp. 48–49.
- [3] Hu X., Cai Z., Song J., Feng P., Yang N., Pan X. Research on Project-Guided Teaching Contents and Method in Engineering Training // 2022 International Conference on Engineering Education and Information Technology (EEIT). – Nanjing, China. – 2022. – Pp. 6–9. – Doi: 10.1109/EEIT56566.2022.00009. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/9933332>.
- [4] Зорин П.А., Купреков С.В., Пуговкин А.В., Стукач О.В. Контроль энергоэффективности теплоснабжения зданий типовой застройки // Электронные средства и системы управления / Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). – 2018. – № 1–2. – С. 302–305. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=37384589>.
- [5] Зорин П.А., Стукач О.В. Статистическое моделирование тепловых характеристик жилых домов на основе данных теплосчетчиков / Новые информационные технологии в исследовании сложных структур: материалы Тринадцатой Международной конференции. Томский государственный университет. – Томск, 07–09 сентября 2020. – С. 11. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=44189681>.

- [6] Clark A.T., Ye H., Isbell F., Deyle E.R., Cowles J., Tilman G.D., Sugihara G. Spatial convergent cross mapping to detect causal relationships from short time series // Ecological Society of America. Report. – First published: 01 May 2015. – <https://doi.org/10.1890/14-1479.1>.
- [7] Усманова К. Р., Стрижов В.В. Модели обнаружения зависимостей во временных рядах в задачах построения прогностических моделей // Системы и средства информатики. – 2019. – Т. 29. – № 2. – С. 12–30.
- [8] Mønster D., Fusaroli R., Tyl'en K., Roepstorff A., Sherson J.F. Inferring causality from noisy time series data. A test of Convergent Cross-Mapping // arXiv: 1603.01155v1 [nlin.CD], – 3 Mar 2016.
- [9] Isufaj A., Martins C.D.C., Cavazza M., Prendinger H. Applying time delay convergent cross mapping to Bitcoin time series // Expert Systems with Applications. – 2025. – Vol. 277. – 127125. – ISSN 0957-4174. – <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127125>.
- [10] Стукач О.В., Зорин П.А., Ершов И.А. Использование метода сходящегося перекрестного отображения в задачах исследования взаимной зависимости температурных рядов / VI Международная научно-техническая конференция "Проблемы машиноведения". Омск: Омский государственный технический университет, 22–23 марта 2022. – С. 228–234. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=48607016>.
- [11] Зорин П.А., Стукач О.В. База данных потребления тепловой энергии многоквартирными жилыми зданиями в зависимости от метеорологических факторов и характеристик зданий. Рег. N 25452. – Doi: 10.12731/ofernio.2025.25452. – Навигатор в мире науки и образования. – 2025. – № 01(66). – С. 119–124. – Бюллетень "Хроники Объединенного фонда электронных ресурсов "Наука и образование"". – 2025. – № 03(190).

Информация об авторах

Стукач Олег Владимирович, д.т.н., профессор кафедры Защиты информации Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, Россия, профессор департамента Электронной инженерии Московского института электроники и математики им. А.Н.Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия, e-mail: tomska@ieec.org, ORCID: 0000-0001-6845-4285.

Кожемяк Олеся Анатольевна, руководитель сектора разработки технической документации ООО «Мехатроника-Томск», г. Томск, Россия, e-mail: o.kozhemyak@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0514-986X.

Students' project activity based on the example of the work "Consistent measures of statistical dependence in the study of the dynamics of related time series"

O.V. Stukach^{1,2}, O.A. Kozhemyak³

¹National Research University Higher School of Economics

²Novosibirsk State Technical University

³Mechatronica-Tomsk LTD

Abstract – On example of a real student project the practice of project-oriented education is considered. The project-based training method changes its content and engineering practice. It is able to combine students' curiosity, interest, and research

abilities, as well as enhance their ability to analyze and solve real-world problems. A number of problems of project-based training vs traditional learning activities have been identified and discussed. An example of the real project related to the random series analysis and design of software for comparing heat consumption series by convergent cross-mapping is given.

Keywords – data acquisition and transfer device, convergent cross-mapping, thermal energy accounting, energy efficiency, residential building

References

- [1] Wang D., Yu J. New progress on the US 'Project 2061' and its enlightenment to China's science education // Education and Teaching Research. – 2019. – № 4. – Vol. 33. – Pp. 43–50.
- [2] Sun R., Ma J. Plan SRT: The effective way to improve students' scientific research innovation ability // Chinese University Science and Technology. – 2013. – № 12. – Pp. 48–49.
- [3] Hu X., Cai Z., Song J., Feng P., Yang N., Pan X. Research on Project-Guided Teaching Contents and Method in Engineering Training // 2022 International Conference on Engineering Education and Information Technology (EEIT). – Nanjing, China. – 2022. – Pp. 6–9. – Doi: 10.1109/EEIT56566.2022.00009. – <https://ieeexplore.ieee.org/document/9933332>.
- [4] Zorin P.A., Kuprekov S.V., Pugovkin A.V., Stukach O.V. Monitoring of heat supply energy efficiency of the standard building // Electronic Tools and Control Systems / Tomsk State University (Tomsk). – 2018. – No. 1–2. – Pp. 302–305. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=37384589>.
- [5] Zorin P.A., Stukach O.V. Statistical modeling of the thermal characteristics of households based on the thermal meter dataset // 13 International conference on new information technologies in the investigation of complex structures. – Tomsk State University, Tomsk, September 07–09. – 2020. – P. 11. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=44189681>.
- [6] Clark A.T., Ye H., Isbell F., Deyle E.R., Cowles J., Tilman G.D., Sugihara G. Spatial convergent cross mapping to detect causal relationships from short time series // Ecological Society of America. Report. – First published: 01 May 2015. – <https://doi.org/10.1890/14-1479.1>.
- [7] Usmanova K. R., Strizhov V.V. Models for detecting dependencies in time series in the tasks of predictive model constructing // Computer science systems and tools. – 2019. – Vol. 29. – No. 2. – Pp. 12–30.
- [8] Mønster D., Fusaroli R., Tyl'en K., Roepstorff A., Sherson J.F. Inferring causality from noisy time series data. A test of Convergent Cross-Mapping // arXiv: 1603.01155v1 [nlin.CD], – 3 Mar 2016.
- [9] Isufaj A., Martins C.D.C., Cavazza M., Prendinger H. Applying time delay convergent cross mapping to Bitcoin time series // Expert Systems with Applications. – 2025. – Vol. 277. – 127125. – <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127125>.
- [10] Stukach O.V., Zorin P.A., Ershov I.A. The use of the convergent cross mapping method in the problems of studying the cross-dependence of temperature series / VI International scientific conference "Mechanical Science and Technology Update" (MSTU-2022), March 22–23, 2022. – Omsk, Russia. – <https://elibrary.ru/item.asp?id=48607016>.
- [11] Zorin P.A., Stukach O.V. Database of Heat Energy Consumption by Multi-Storey Residential Buildings Depending on Meteorological Factors and Building Characteristics / Reg. #25452. – Bulletin of the Chronicles of the United Fund of Electronic Resources <Science and Education>. – 2025. – N 03(190). – Doi 10.12731/ofernio.2025.25452.