

Методология моделирования управления организационными проектами в области экологической устойчивости в Иране и Турции

Н. Махмуди

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН)

Аннотация: В статье представлено комплексное обобщение основных результатов диссертационного исследования, посвящённого разработке методологии моделирования управления организационными проектами в области экологической устойчивости. Исследование выполнено на примере городов Ирана и Турции и объединяет управленческие, экологические и инженерные подходы в рамках единой аналитической структуры. Методология исследования основана на интеграции моделирования структурными уравнениями, многокритериального анализа решений и оценки жизненного цикла инженерным моделированием и цифровым мониторингом инфраструктуры на основе интернета вещей. В качестве прикладного инструмента использована система обнаружения утечек воды, обеспечивающая количественную оценку эксплуатационных показателей систем водоснабжения, включая неучтённые потери воды, время обнаружения утечек, энергопотребление и выбросы CO₂. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенной методологии для комплексной оценки и управления проектами экологической устойчивости, а также демонстрируют различия и общие закономерности устойчивого развития в условиях Ирана и Турции. Представленный подход может быть использован в качестве универсального инструмента поддержки управленческих решений в сфере устойчивого развития городских и организационных систем.

Ключевые слова: инженерное моделирование, цифровой мониторинг, системы водоснабжения, утечки воды, гидравлические параметры

Введение

В последние десятилетия экологическая устойчивость стала одним из ключевых направлений управления организационными и городскими проектами. Рост антропогенной нагрузки, ускоренная урбанизация и усложнение социально-экономических систем обусловили переход от трактовки устойчивости как исключительно экологической проблемы к её рассмотрению в качестве комплексной управленческой задачи [1, 2]. В этих условиях управление проектами устойчивого развития требует интеграции управленческих, экологических и технических аспектов в рамках формализованных моделей принятия решений [3].

Иран и Турция, несмотря на различия в институциональной среде, сталкиваются с сопоставимыми вызовами в сфере управления ресурсами и городского развития, что делает их репрезентативными объектами для сравнительного анализа [4, 5]. Существенная часть исследований в области устойчивого развития базируется на агрегированных индикаторах и качественных оценках, которые ограниченно отражают причинно-следственные связи между управленческими решениями, экологическими эффектами и результатами реализации проектов [6]. В связи с этим в современных исследованиях всё более широко применяются методы моделирования структурными уравнениями и многокритериального анализа решений [7, 8], а также оценки жизненного цикла [9]. Однако на практике данные методы нередко используются фрагментарно и недостаточно связаны с фактическими данными реализации проектов. Развитие цифровых технологий и систем интернета вещей открывает возможности получения инженерных и эксплуатационных данных, которые могут служить надёжной эмпирической основой для комплексного моделирования устойчивости [10]. В данной статье представлено обобщение результатов диссертационного исследования, направленного на разработку методологии моделирования управления организационными проектами в области экологической устойчивости в Иране и Турции, основанной на интеграции указанных методов с инженерными данными цифрового мониторинга.

Материалы и методы

Исследование основано на результатах диссертационной работы и использует интегрированный управленческо-инженерный подход к моделированию управления организационными проектами в области экологической устойчивости. Объектом анализа являются проекты и системы устойчивого развития, реализуемые в ряде городов Ирана и Турции, выбранных в качестве репрезентативных примеров для сравнительного

исследования. В управленческой части применяется моделирование структурными уравнениями для анализа взаимосвязей между управленческими, экологическими и результативными показателями проектов. Данный метод позволяет выявить и подтвердить причинно-следственные зависимости, определяющие эффективность проектов устойчивого развития. Для приоритизации управленческих решений используется метод многокритериального анализа решений, обеспечивающий переход от аналитических результатов к практическим управленческим стратегиям.

Экологическая оценка выполняется с использованием метода оценки жизненного цикла, с акцентом на эксплуатационную фазу проектов, что позволяет сопоставить экологические последствия различных управленческих вариантов. В инженерной части исследования используются эксплуатационные данные, полученные с помощью систем цифрового мониторинга на основе технологий Интернета вещей. Эти данные служат основой для связи управленческих решений с фактическими показателями функционирования систем.

Совместное использование моделирования структурными уравнениями, многокритериального анализа решений и оценки жизненного цикла и интернета вещей-данных формирует целостную методологию оценки и управления организационными проектами в сфере экологической устойчивости.

1. Результаты и обсуждение

1.1. Вводное пояснение

Вводное пояснение: роль Интеллектуальная система обнаружения утечек воды

Система Интеллектуальная система обнаружения утечек воды используется в работе как инженерный инструмент сбора эксплуатационных данных и

поддержки управленческих решений. Её функция заключается в мониторинге и структурировании данных работы систем водоснабжения, которые далее применяются в качестве количественных входных параметров для управленческого анализа, многокритериального анализа решений и оценки жизненного цикла. Таким образом, Интеллектуальная система обнаружения утечек воды является элементом методологии управления проектами устойчивого развития, а не самостоятельным технологическим решением.

3.1. Интегрированная оценка устойчивости на основе тепловой карты

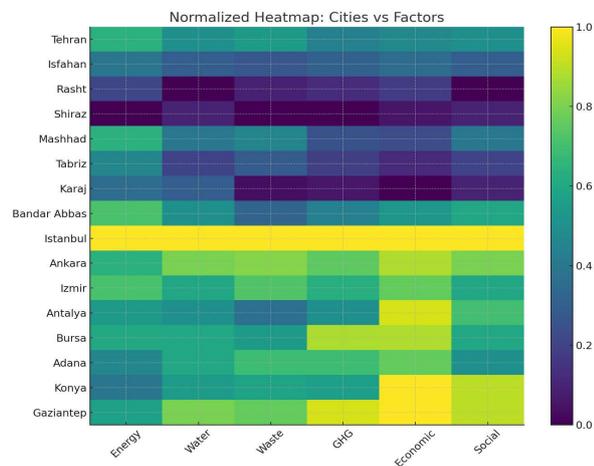


Рис. 1. – Нормализованная тепловая карта городов по факторам устойчивости

Тепловая карта отражает сравнительную устойчивость городов Ирана и Турции по энергетическим, водным, экологическим, экономическим и социальным показателям. Полученные результаты выявляют выраженные региональные различия и формируют основу для последующего инженерного анализа. Данный уровень анализа задаёт контекст для интерпретации эксплуатационных показателей и межгородских различий.

1.2. Инженерный мониторинг утечек на основе ΔQ

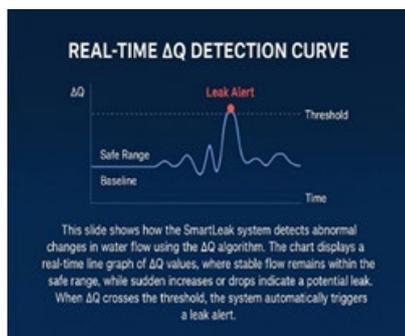


Рис.2. – Мониторинг ΔQ в реальном времени и активация сигнала утечки



Рис.3. – Сравнительный дашборд Тегерана и Стамбула

Резкие отклонения ΔQ от порогового значения автоматически фиксируются как аварийные события. Результаты подтверждают эффективность интернета вещей-мониторинга как источника инженерных данных для управления проектами устойчивого развития [1,2].

3.3. Сравнение эксплуатационных показателей

В обоих городах зафиксировано снижение неучтённые потери воды и сокращение времени обнаружения утечек, однако степень улучшений различается. Различия в результатах подчёркивают влияние управленческих и институциональных факторов.

3.4. Снижение неучтённых потерь воды (неучтённые потери воды)

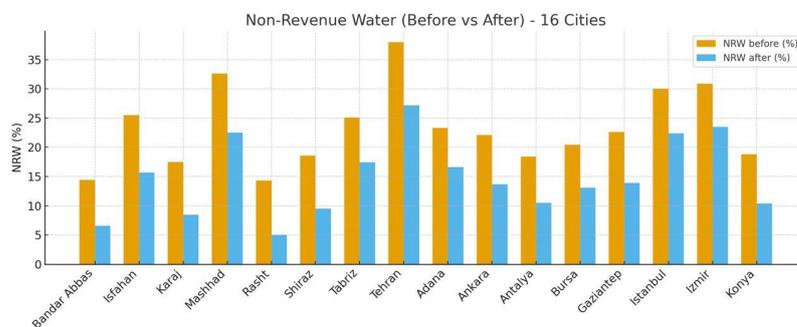


Рис.4. – Неучтённые потери воды до и после внедрения системы в 16 городах (Северный Рейн-Вестфалия до и после)

Средний уровень неучтённых потерь воды снизился примерно с 23% до 14%. Это подтверждает связь между управленческими решениями, основанными на данных, и повышением устойчивости проектов [6–8].

3.5. Сокращение времени обнаружения утечек

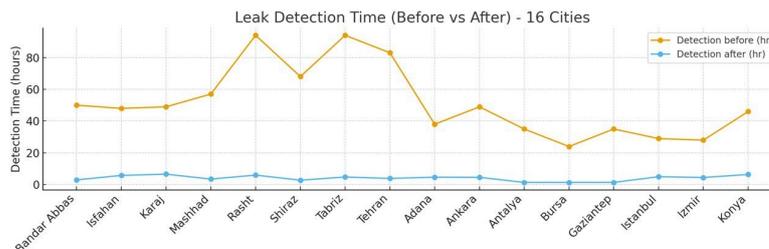


Рис.5. – Время обнаружения утечек до и после внедрения

Среднее время обнаружения сократилось с порядка 70 часов до 4–6 часов. Сокращение времени обнаружения утечек снижает эксплуатационные потери и повышает эффективность управления проектами [1, 3].

3.6. Обобщённое Обсуждение

Совместный анализ результатов, представленных на рисунках 1–5, подтверждает, что интеграция инженерного мониторинга с методами многокритериального анализа решений и оценки жизненного цикла формирует надёжную и воспроизводимую основу для управления проектами экологической устойчивости, что соответствует современным международным исследованиям [7–9].

Обсуждение

Результаты исследования подтверждают, что интеграция Интернета вещей-мониторинга гидравлических параметров с инструментами оценки устойчивости позволяет получить инженерно обоснованную и эксплуатационно значимую оценку работы городских инфраструктур. В

отличие от подходов, основанных на агрегированных показателях, предложенная методология напрямую связывает показатели устойчивости с измеряемым гидравлическим поведением системы.

1.3. Инженерная интерпретация снижения неучтённых потерь воды

Снижение уровня неучтённых потерь воды, зафиксированное во всех анализируемых городах, свидетельствует о том, что Интеллектуальная система обнаружения утечек воды выступает полноценным инженерным инструментом управления, а не только средством диагностики. Достигнутые значения снижения неучтённых потерь воды в диапазоне 7–10 процентных пунктов соответствуют ожидаемым эффектам раннего обнаружения утечек и стабилизации давления в распределительных сетях. Ключевую роль в этом процессе играет существенное сокращение времени обнаружения утечек. Снижение задержки с нескольких суток до нескольких часов ограничивает суммарный объём потерь воды и уменьшает вторичные негативные эффекты, включая колебания давления и ускоренный износ трубопроводов. Это согласуется с известными закономерностями гидравлики утечек, где объём потерь в первую очередь определяется временем.

4.2. *Связь гидравлической эффективности и экологических эффектов*

Полученные результаты демонстрируют устойчивую связь между повышением гидравлической эффективности и снижением экологической нагрузки. Положительная зависимость между сокращением неучтённых потерь воды и снижением выбросов CO₂ подтверждает, что повышение эффективности водораспределительных сетей приводит к снижению энергопотребления насосных станций. Расчёт экологических эффектов на основе измеренного и смоделированного энергопотребления подчёркивает роль инженерной эффективности как ключевого фактора устойчивого развития. В этом контексте снижение неучтённых потерь воды выступает

интегральным показателем, отражающим одновременно водосбережение, энергоэффективность и сокращение выбросов.

4.3. Сравнительный анализ: Иран и Турция

Сравнительный анализ выявляет различия в характере улучшений между городами Ирана и Турции. Турецкие города характеризуются меньшими начальными значениями времени обнаружения утечек и более умеренными эффектами внедрения, что свидетельствует о более высоком уровне исходной цифровизации. В то же время города Ирана демонстрируют более значительные абсолютные улучшения, указывая на высокий потенциал повышения эффективности. Данные различия подчёркивают важный методологический вывод: идентичные инженерные решения могут приводить к различным результатам устойчивости в зависимости от исходных условий функционирования системы.

4.4. Значение для систем оценки устойчивости интеграции инженерных показателей

Интеллектуальная система обнаружения утечек воды в модели многокритериального анализа решений и оценки жизненного цикла и моделирования структурными уравнениями устраняет разрыв между мониторингом инфраструктуры и инструментами поддержки принятия решений. Это позволяет трансформировать оценку устойчивости из описательного инструмента в практический механизм управления.

4.5. Ограничения и направления дальнейших исследований

К ограничениям исследования относится фокус на эксплуатационной фазе систем водоснабжения без учёта этапов строительства и реконструкции. Кроме того, дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение объёма полевых данных и внедрение прогностических и оптимизационных алгоритмов управления.

Заключение

В статье представлено комплексное обобщение основных результатов диссертационного исследования, посвящённого моделированию управления организационными проектами в области экологической устойчивости в Иране и Турции. Полученные результаты показывают, что устойчивость проектов формируется не только за счёт технических решений, но и в результате системного взаимодействия управленческих процессов, инженерных данных и экологических оценок. Интеграция моделирования структурными уравнениями, многокритериального анализа решений и оценки жизненного цикла с реальными эксплуатационными данными, полученными посредством цифрового мониторинга, обеспечивает комплексную и основанную на данных оценку результатов проектов устойчивого развития. Использование эмпирических данных позволяет повысить эффективность использования ресурсов и обоснованность управленческих решений. Сравнительный анализ городов Ирана и Турции показал, что предложенная методологическая рамка обладает высокой адаптивностью и может быть использована в качестве надёжного инструмента управления организационными проектами в сфере экологической устойчивости в различных институциональных условиях.

Литература (References)

1. Ramos H.M., McNabola A., López-Jiménez P.A. Smart water management towards future water sustainable networks // *Water*. 2020. Vol. 12, No. 1. P. 58. DOI: 10.3390/w12010058
2. Adedeji K.B., Hamam Y., Abu-Mahfouz A.M. Интернет-вещей-based leakage detection and localization in water distribution systems // *Sensors*. 2019. Vol. 19, No. 24. P. 5546. DOI: 10.3390/s19245546



3. Carrión A., Solano F., López-Jiménez P.A. Energy efficiency improvement in pressurized water systems using smart monitoring // *Sustainable Cities and Society*. 2021. Vol. 64. P. 102530. DOI: 10.1016/j.scs.2020.102530
4. Rossi M., Germano M., Napoli R. Data-driven approaches for leakage detection in urban water distribution networks // *Water Resources Management*. 2019. Vol. 33. pp. 3071–3085. DOI: 10.1007/s11269-019-02293-4
5. Mutchek M., Williams E. Moving towards sustainable and resilient smart water grids // *Environmental Science & Technology*. 2019. Vol. 53, No. 9. pp. 4822–4834. DOI: 10.1021/acs.est.8b06092
6. Mahmoudi N. Modeling the management of organizational projects in the field of environmental sustainability: Methodological approaches and comparative analysis of the experience of Iran and Turkey. *Economics and Management*. 2025; 31(2):160-170. doi.org/10.35854/1998-1627-2025-2-160-170
7. Liu J., Sun F., Yang Y. Multi-criteria decision analysis for sustainable urban water management // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, No. 6. P. 2403. DOI: 10.3390/su12062403
8. Ren H., Zhou W., Nakagami K. Life cycle assessment of urban water systems under smart management strategies // *Water*. 2019. Vol. 11, No. 8. P. 1654. DOI: 10.3390/w11081654
9. Hair J.F., Hult G.T.M., Ringle C.M., Sarstedt M. A primer on partial least squares structural equation modeling // SAGE Publications. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-71691-6
10. Gurung T.R., Stewart R.A., Beal C.D., Sharma A.K. Smart meter enabled water end-use demand analysis and sustainability implications // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 183. pp. 893–903. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.071

Дата поступления: 17.12.2025

Дата публикации: 25.02.2026