

УДК 338.984

DOI: 10.25688/2312-6647.2023.38.4.07

Леонтьев Николай Яковлевич

Атомэнергопроект,
Нижний Новгород, Россия,
n.leontyev@ase-ec.ru

Самаров Дмитрий Андреевич

Атомэнергопроект,
Нижний Новгород, Россия,
d.samarov@ase-ec.ru

Никонова Ирина Олеговна

Атомэнергопроект,
Нижний Новгород, Россия,
nikonova_io@aep.ru

Тюленев Роман Антонович

Атомэнергопроект,
Нижний Новгород, Россия,
tyulenev@ase-ec.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТРИЧНОГО ГИБКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. В статье рассмотрен один из методов гибкого планирования для построения структуры зависимостей задач, включенных в проект, который позволяет пользователю моделировать, визуализировать и анализировать зависимости между объектами любой системы, а также оптимизировать график планирования проектирования и сооружения объекта за счет выбора технологических альтернатив выполнения задачи или же изменения общей структуры проекта. В работе дана общая оценка возможного экономического эффекта от внедрения и практического применения модели при проектировании и сооружении сложных инженерных объектов, а также возможные перспективы развития предложенного метода.

Цель работы — рассмотрение возможности применения матричного метода для гибкого планирования сооружения сложных инженерных объектов, анализа структуры зависимостей проекта и его оптимизации.

В ходе работы был разработан прототип программного средства, реализующий гибкое планирование проектов, основанное на матричном методе, с учетом много-сценарности задач. Модель при заданных качественных исходных данных о проекте способна эффективно проводить планирование, расставлять приоритеты между способами решения работы/задачи, а также последовательностью их выполнения.

В предлагаемой математической модели возможно дальнейшее расширение функциональности, внедрение оптимизации продиктованной необходимостью

выравнивания ресурсных профилей. Также планируется создание программного обеспечения с удобным для пользователя интерфейсом на основе данной математической модели.

Ключевые слова: управление проектами, управление человеческим капиталом, планирование ресурсов, гибкое планирование, agile, гибридное планирование, матричный метод (DSM).

UDC 338.984

DOI: 10.25688/2312-6647.2023.38.4.07

Leontiev Nikolay Yakovlevich

Atomenergoproekt,
Nizhny Novgorod, Russia
n.leontyev@ase-ec.ru

Samarov Dmitry Andreevich

Atomenergoproekt,
Nizhny Novgorod, Russia
d.samarov@ase-ec.ru, nikonova_io@aep.ru

Nikonova Irina Olegovna

Atomenergoproekt,
Nizhny Novgorod, Russia
nikonova_io@aep.ru

Tyulenev Roman Antonovich

Atomenergoproekt,
Nizhny Novgorod, Russia
tyulenev@ase-ec.ru

MATHEMATICAL MODELLING OF FLEXIBLE PLANNING FOR THE CONSTRUCTION OF COMPLEX ENGINEERING FACILITIES BASED ON THE MATRIX METHOD

Abstract. Flexible and hybrid approaches to project management are widely represented in IT and construction. But many manufacturing continue to use the traditional approach to project management.

The article presents a flexible planning method for constructing a dependency structure of tasks in the project. This method allows you to model, visualize and analyze dependencies between project tasks. A key feature of mathematical modeling is the ability to optimize the planning schedule for the design an object by choosing technological task alternatives.

The article gives a general assessment of the possible economic effect of the implementation of the model in a real project. Also it shows the prospects for the development of this method.

The purpose of the work is to consider the possibility of using the matrix method for flexible planning of the construction of complex engineering facilities, analysis of the structure of project dependencies and its optimization.

The result of the work is a prototype of a software tool that implements flexible project planning. It is based on the matrix method and takes into account the multi-scenario implementation of some tasks. The model is able to prioritize between the ways of solving the work/task, as well as the sequence of their implementation when planning a project.

The expansion of functionality, the introduction of optimization based on resource profiles can serve as a further stage of research. The end result of the work will be software with a user-friendly interface based on this mathematical model.

Keywords: project management, human capital management, resource planning, flexible planning, agile, hybrid planning, matrix method (DSM).

Понятие сложных инженерных объектов неразрывно связано с подходами, методами, инструментами управления таких объектов. Сооружение атомной электростанции (АЭС) — одного из самых сложных инженерных объектов в мире — включает в себя тысячи операций, взаимосвязанных между собой. Основными задачами при реализации проекта ставятся сокращение сроков и стоимости готового объекта, с учетом всех норм безопасности и требований к качеству.

Следует признать, что область применения методологии проектного менеджмента растет с каждым годом. Однако значительная часть руководителей организаций до сих пор считают применение математических моделей малоэффективным и предпочитают принимать решения, основываясь лишь на собственном опыте, интуиции и на своем искусстве управления [1]. Вместе с этим достаточно большое число инициированных проектов остаются несостоятельными [2]. За последние несколько десятилетий появились несколько новых гибких подходов к управлению проектами [3] и их не стоит недооценивать. Применение гибких и гибридных подходов к управлению проектами широко представлено в IT-сфере [4] и все чаще встречается в строительстве, тогда как подавляющее большинство отраслей промышленности и производства продолжают придерживаться традиционного подхода к управлению проектами.

Классическая задача оптимизации в сложных инженерных системах сводится к достижению целевой функции или группе целевых функций (многокритериальная оптимизация) при заданных ограничениях. При этом наиболее часто целью является сокращение длительности проекта, или затрат и ресурсов, требующихся на его реализацию. В работе предлагается проводить оптимизацию графика планирования проектирования и сооружения сложных инженерных объектов за счет:

- выбора выполнения каждой работы/задачи, их набора из технологических альтернатив;
- изменения самой архитектуры проекта, включения или исключения работ/задач и взаимосвязей между ними.

Также модель предусматривает анализ и оценку воздействий различных рисков на проект и общую оценку производительности оптимального решения по сравнению с базовым.

Применение прогрессивных методов планирования позволит проводить анализ текущего состояния проекта, обеспечить максимально возможный охват всех факторов, влияющих на возможность сокращения сроков, снижение стоимости и грамотное распределение ресурсов, заменить применяемые упрощенные и приближенные расчеты точными вычислениями.

Математические основы матричного метода берут свою основу из дискретной математики и теории графов. Термин DSM (The Design Structure Matrix) впервые был введен в 1960-х годах Доном Стюардом [5, с. 71–74]. Новый виток популярности метод приобрел с начала 2010-х годов. Исследовательские работы венгерского ученого З. Т. Костяна [6; 7] заслуживают особого внимания ввиду рассмотрения им более широких возможностей применения матричного метода. В своих статьях упомянутый автор оперирует определением — экспертная матрица проекта, которая позволяет задавать значения вероятности, относительную важность и уровень приоритета для задач, а также неопределенные отношения между ними, что дает возможность уйти от традиционного подхода планирования и перейти к гибким проектам. Матричный метод также может применяться для решения проблемы управления взаимодействием с заинтересованными сторонами проекта [8, с. 1].

Материалы и методы

Матричный метод, в существующих исследованиях, в основном использовался для планирования и графического представления проектов развития производства наряду с методами сетевого планирования.

Гибкие, гибридные и экстремальные методы управления проектами становятся все более популярными среди практиков, особенно в секторах информационных технологий, исследований и разработок [9–12].

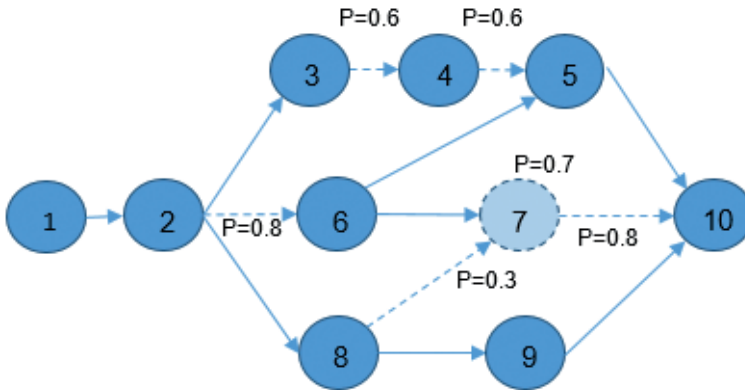
С точки зрения планирования, традиционные проблемы компромисса времени и затрат [13; 14] поддерживают традиционный подход к управлению проектами и обычно не учитывают, или лишь частично учитывают гибкий подход к управлению [15].

Традиционный подход к планированию проектов не допускает гибких зависимостей, взаимосвязи между задачами от начальной до конечной являются устойчивыми и не могут быть разорваны, что реализуется направленной архитектурой проекта.

Гибкий подход к планированию позволяет изменять архитектуру проекта и учитывать дополнительные задачи, возникающие в процессе его выполнения. Он направлен на создание в кратчайшие сроки минимально жизнеспособного продукта, потребовав, например, для этого повышенное количество ресурсов. Однако такой подход не может учитывать в спринте дополнительные задачи.

Гибридный подход представляет собой синергию традиционного и гибкого подходов, сохраняет общую концепцию и архитектуру проекта, может учитывать возникшие дополнительные задачи в процессе выполнения проекта.

Для построения матрицы смежности необходима информация о задачах, включенных в проектный план, а также об их взаимосвязи между собой. Пусть проект состоит из 10 элементов (задач), зависимости между которыми известны (см. рис. 1).



Источник: составлено авторами.

Рис. 1. Граф проекта

Символ «Р» отвечает за вероятность включения задачи в проект, например вероятность выполнения 7 задачи равняется 0.7, или же вероятность существования взаимосвязи между задачами.

С учетом данных, представленных графом (см. рис. 1), матрица структуры проекта будет выглядеть следующим образом (см. рис. 2).

Значения, расположенные на главной диагонали матрицы, характеризуют вероятность включения задачи в проект. Значения в верхнем треугольнике матрицы (выше главной диагонали) характеризуют взаимосвязи между задачами, в нижнем — наличие обратных связей.

Отметим общие возможности и преимущества матричного метода построения структуры зависимостей:

- возможность учета обратных связей;
- удобная и компактная визуализация объемного количества работ;
- возможность разбиения задач на группы с учетом их взаимосвязи между собой;
- выполнение секвенирования работ (изменение порядка строк и столбцов матрицы для устранения обратных связей);
- выполнение «разрыва», с целью удаления меток обратной связи;
- выполнение группировки данных в матрице с целью поиска критического пути;
- использование передовых численных методов.

Все перечисленные возможности представленных производимых операций служат мощным инструментом для анализа, оптимизации, поиска оптимальных решений, и используется матричный метод как система поддержки управленческих решений.

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0.8	0	1	0	0
3	0	0	1	0.6	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0.6	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0.8
8	0	0	0	0	0	0	0.3	1	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Источник: составлено авторами.

Рис. 2. Матрица структуры проекта

Наряду с существенными преимуществами, этот метод имеет и некоторые недостатки:

- за счет представления всех данных в виде матрицы объем данных увеличивается в n^n раз. Таким образом, обработка такого массива данных требует больше времени и большей вычислительной мощности [16, с. 50];

- представление данных в виде матриц непривычно для восприятия и интерпретации специалиста, занимающегося отдельными функциональными областями проекта, поэтому необходимо преобразовать обработанные данные в классическое визуальное представление.

Каждая функциональная область управления проектом характеризуется своим набором элементов и их характеристик. Например, управление сроками характеризуется в основном тремя параметрами: наименованием работ, их взаимосвязью между собой, а также продолжительностью каждой из них. Ввиду чего матрица структуры проектов дополняется и расширяется с учетом длительности, стоимости и ресурсоемкости каждой задачи, включенной в проект.

Для создания математической модели [17; 18] управления проектами матрица структуры проекта была сформирована в виде матрицы, представленной на рисунке 3.

x	Logic Domain										TD		CD		RD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	t_{\min}	t_{\max}	c_{\min}	c_{\max}	r_{\min}	r_{\max}
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	12	15	1.6	1.8
2	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	8	10	7.8	9	1.3	2
3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	7	9	5	6	1.8	3
4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	2	15	16.1	2.4	3
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	10	11	13	14.2	3	4.1
6	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	4	7	9	19.8	5	5.1
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	6	9	3	4.6	3.2	3.3
8	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	2	5	8	9.2	3.4	6
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	6	6.5	6.8	5	7.4
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	7.1	8	9	12

Источник: составлено авторами.

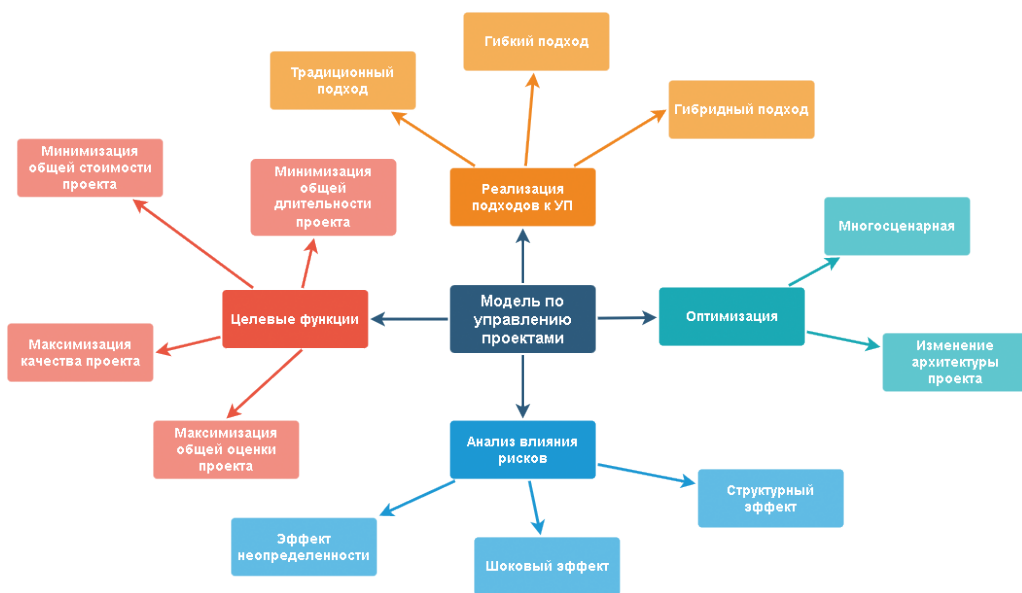
Рис. 3. Структура данных для разрабатываемой модели

Матрица входных данных представляет собой совокупность матрицы структуры проекта, правила составления которой были приведены ранее, здесь она обозначена как логический домен, и доменов, характеризующих существующие в проекте задачи. Таким образом, вводятся еще три домена, каждый из которых представлен минимальным и максимальным значением, для формирования пессимистичных и оптимистичных прогнозов проектного планирования. Домен времени отвечает за длительность задачи, домен стоимости отражает величину затрат на реализацию задачи, и ресурсный домен иллюстрирует необходимое количество ресурсов на выполнение данной задачи.

Алгоритм работы математической модели, реализованной на основе матричного метода можно описать следующим образом. Первостепенной задачей является преобразование исходных данных к расширенной матрице, то есть к экспертной матрице проекта. Далее в процессе работы алгоритма исполняются основные оптимизационные алгоритмы за счет изменений и ограничений, вносимых параметрами, учитывающими риски. На первых этапах производится многосценарная оптимизация для отбора лучших сценариев на основе требований и ограничений. После чего следует оптимизация с использованием генетических алгоритмов, которая предсказывает, как бы мог выглядеть проект, в зависимости от того, каким подходом его реализуют: традиционным, гибким или гибридным. Также осуществляется проверка выполнимости проекта, оценка эффективности планирования каждым из подходов и вывод сводной аналитической статистики.

Анализ рисков состоит из манипуляций требованиями и ограничениями проекта, тем самым симулируя непредвиденные ситуации в ходе его выполнения и вводя в проектные решения риски. Достигаются такие эффекты прохождением трех этапов (фаз), которые вносят изменения в МПОП, ход планирования разными подходами и матрицы структуры проекта. На основе всех этих манипуляций получаются многомерные результаты, так как для анализа модель формирует сводную статистику на каждую из фаз, после чего совмещает их. В рамках работы выделено и смоделировано три основных типа рисков: отклонение требований к проекту с определенной вероятностью для каждой работы на определенную величину — эффект неопределенности; шоковый эффект — когда существует неопределенность для ресурсов и связей для группы задач; изменение структуры и взаимосвязи задач, что отражается на порядке выполнения работ, — структурный эффект.

Программная реализация данного алгоритма была осуществлена в среде моделирования MATLAB [19] версии R2021b. Возможности математической модели представлены на рисунке 4.



Источник: составлено авторами.

Рис. 4. Математическая модель по управлению проектами

Первая задача предлагаемого программного средства состоит в реализации трех различных подходов к управлению проектами (традиционного, гибкого и гибридного), чтобы иметь возможность сравнения их эффективности в планировании и снижении рисков, и последующем выборе наиболее подходящего подхода для каждого проекта.

Помимо определения подхода необходимо учитывать потребности в ресурсах и оптимизировать их использование. Для этого в нашей модели вводятся

целевые функции, позволяющие в зависимости от требований минимизировать стоимость проекта, минимизировать длительность проекта, максимизировать качество проекта или максимизировать оценку проекта.

Для каждого подхода с учетом выбранной целевой функции формируются пессимистичный и оптимистичный сценарии реализации проекта.

Еще один важный аспект, реализованный в модели, — анализ влияния учета рисков, позволяющий имитировать изменения в требованиях, ограничениях и структуре проекта.

В рамках проверки осуществимости и оценки эффективности планирования производится оптимизация проекта, включающая в себя многосценарную оптимизацию и изменения архитектуры проекта.

Оптимизация за счет изменения архитектуры проекта реализуется за счет изменения значений параметра «Р», то есть за счет исключения малозначительных задач из проекта или же разрыва слабых связей между задачами.

Многосценарность в управлении определяется существованием нескольких способов выполнения отдельной задачи или группы задач в проекте. Процесс многосценарной оптимизации состоит в выборе наиболее подходящего, с учетом целевой функции, варианта реализации задачи [20]. Данный принцип основан на рассмотрении альтернатив по стоимости, длительности выполнения или затрачиваемым ресурсам. В зависимости от варианта реализации изменяется подход к выполнению данной работы и работ, смежных с ней, а также стоимость, длительность и ресурсы как самой работы, так и всего проекта.

Обсуждение

В ходе реализации математической модели применения матричного гибкого планирования для сооружения сложных инженерных объектов была произведена разработка алгоритма расчета времени и стоимости проекта при построении оптимальной архитектуры проекта. На основании полученных данных были применены инструменты визуализации для отображения на графе критического пути, создания сетевого графика и построения ресурсного профиля для каждого из используемых ресурсов (времени, стоимости, ресурсов) и диаграммы Ганта для существующих в проекте работ. Для удобства предоставления результатов пользователям был внедрен алгоритм кластеризации (визуальная классификация по видам работ).

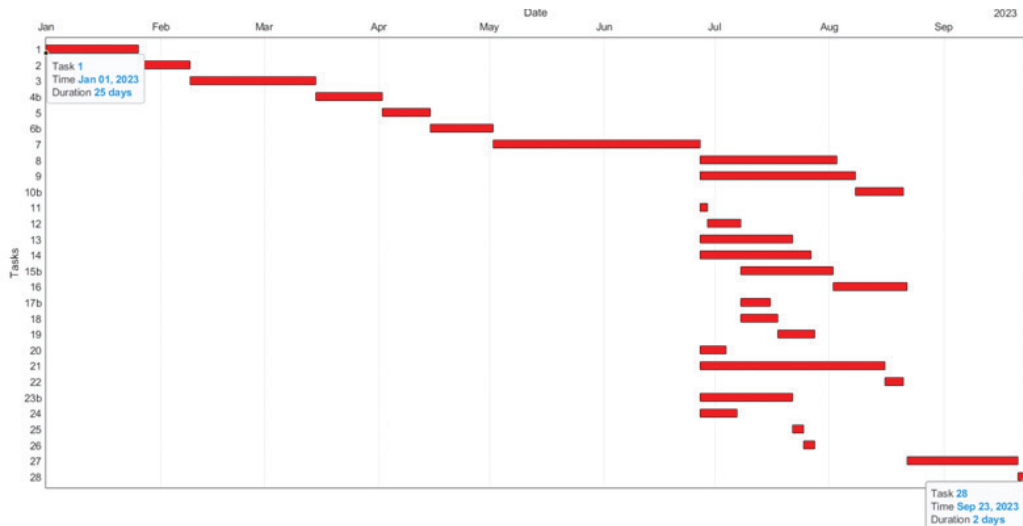
В ходе дальнейших исследований были созданы теоретический и практический кейсы с выбором альтернативных технологических исполнений проекта. Модель позволяет формировать сводную статистику всех требований проекта, иллюстрирует влияние рисков по каждому из подходов, оценивает и иллюстрирует общую эффективность проекта с учетом рисков.

В предлагаемой математической модели возможно дальнейшее расширение функциональности. Одной из возможных ветвей развития является оптимизация на основе требований выравнивания ресурсных профилей. Таким образом, ограничением будет являться не максимальная стоимость или длительность всего проекта, а значение эффективности менеджмента ресурсами на протяжении всего проекта.

Развитием работы над предлагаемой математической моделью может служить создание программного обеспечения, реализующее гибкое планирование сооружения сложных инженерных объектов, с более доступным для рядовых пользователей интерфейсом, удобной навигацией и визуализацией.

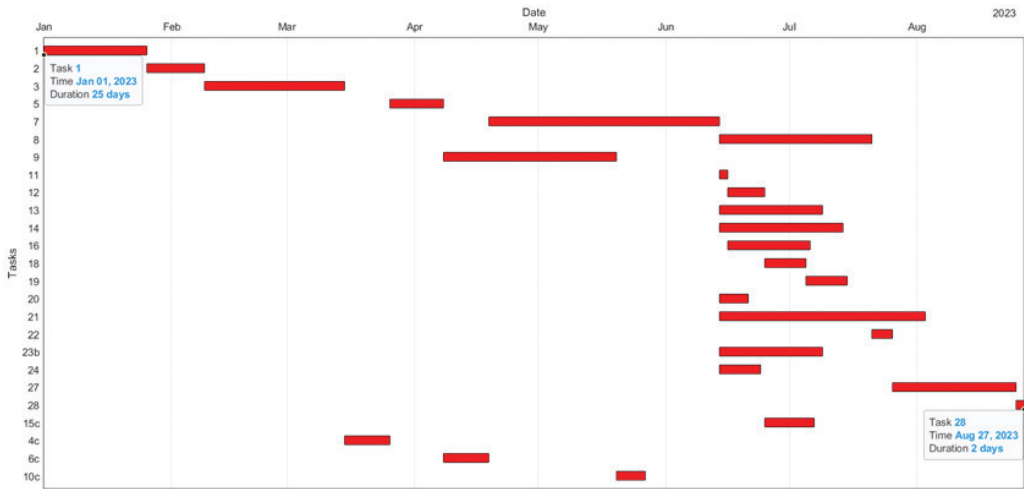
Результаты

Формирование математической модели проводилось на примере возведения трехэтажного здания. Бюджет был ограничен размером в 780 млн рублей, было выбрано оптимизационное решение, связанное с уменьшением длительности проекта. Диаграммы Ганта, отображающие исходный график выполнения проекта и график проекта после внедрения оптимизации, приведены на рисунках 5 и 6 соответственно.



Источник: составлено авторами.

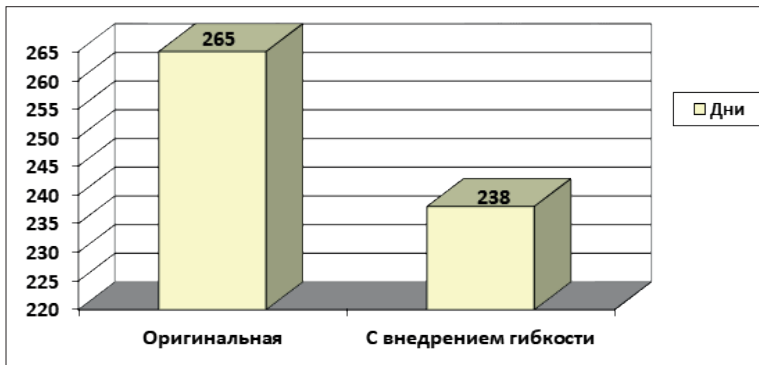
Рис. 5. Исходный график выполнения проекта



Источник: составлено авторами.

Рис. 6. График выполнения проекта с учетом оптимизации

Длительность проекта с внедрением гибкости в проект в сравнении с исходной длительностью сокращается с 265 до 238 дней, данные отображены на рисунке 7.



Источник: составлено авторами.

Рис. 7. Длительность реализации проекта классическим способом и с применением гибкого подхода

Представленная выше математическая модель была апробирована на основе данных реального объекта отрасли атомной энергетики, выгруженных из программы Primavera, а именно на графике строительно-монтажных работ (СМР) реакторного отделения Курской АЭС-2. Число задач в проекте составляло 8642. Значение теоретической гибкости проекта определялось в 3 % от общего количества задач. Апробация результатов была произведена на данных о строительстве реакторного отделения КуАЭС-2 и позволила оптимизировать длительность выполнения проекта на 8 %.

Модель при заданных качественных исходных данных о проекте способна эффективно проводить планирование, расставлять приоритеты между способами решения работы/задачи, а также последовательностью их выполнения.

Заключение

Быстроразвивающиеся высокие технологии и активное внедрение их в различные отрасли народного хозяйства обязывают оставаться на плаву, всегда просчитывать будущее, анализировать настоящее и прошлое любой экономической хозяйствующей деятельности. Для задач, связанных с цифровым оборотом документации и различных инженерных изысканий, уже создано большое количество программных инструментов для различных специализаций. Каждый руководитель проекта понимает, что верно выбранный инструмент может обеспечить высокие показатели проекта на рынке. За счет развития высоких технологий, таких как нейросети, инструментарий любой деятельности, в частности проектирование сложных архитектурных сооружений, способен выйти на новый уровень за счет постоянно обучающейся модели, которая будет способна формировать наиболее оптимальные решения из множества возможных при заданных ограничениях.

В ходе данной работы был разработан прототип инструмента, который необходим для анализа возможностей, перспектив и рисков проекта. Данная модель использует один из видов алгоритма машинного обучения, чтобы сформировать прогнозы проектных решений. Однако перед их реализацией нужно получить экспертное мнение, которое позволит определить наиболее эффективные решения и исключить неприемлемые или невыполнимые варианты. Это гарантирует, что результаты работы модели будут полезны и помогут повысить эффективность проекта. Без сомнения, подобный инструментарий, основанный на взаимодействии искусственного интеллекта и человека, имеет огромный потенциал и реалистичные перспективы в обозримом будущем однако для его разработки необходима должная поддержка инициатив.

Список источников

1. Асаул А. Н., Князь И. П., Коротаева Ю. В. Теория и практика принятия решений по выходу организаций из кризиса / под ред. А. Н. Асаула. СПб.: ИПЭВ, 2007. 224 с.
2. Дубников А. В. Анализ текущего состояния уровня проектного управления в организации [Электронный ресурс] // Современные технологии управления. 2021. № 3 (96). URL: <https://sovman.ru/article/9614/>
3. Wysocki R. K. Effective project management: Traditional, agile, extreme, hybrid. John Wiley & Sons, 2019. 656 p.
4. Zsolt T., Gergely, L. N., Csaba H. Survive IT! Survival analysis of IT project planning approaches [Электронный ресурс] // Operations Research Perspectives. 2020. Vol. 7. URL: https://www.researchgate.net/publication/346872557_Survive_IT_Survival_analysis_of_IT_project_planning_approaches

5. Steward D. The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems // *IEEE Transactions on Engineering Management*. 1981. № 28 (3). P. 71–74.
6. Kosztyán Z. T., Szalkai I. Multimode resource-constrained project scheduling in flexible projects // *J Global Optim*. 2020. № 76 (1). P. 211–41.
7. Zsolt T. MFPP: Matrix-based flexible project planning, scheduling, and risk analysis for traditional, agile, and hybrid project management [Электронный ресурс] // *SoftwareX*. 2022. № 17. URL: [https://www.softxjournal.com/article/S2352-7110\(22\) 00001-2/pdf](https://www.softxjournal.com/article/S2352-7110(22) 00001-2/pdf)
8. Wen F., Edward F., Crawley O., de Weck L., Robinson B. Dependency structure matrix modelling for stakeholder value networks [Электронный ресурс] // *Managing Complexity by Modelling Dependencies: Proceedings of the 12-th International DSM Conference*. Cambridge, UK, 2010. URL: <https://www.designsociety.org/publication/30353/Dependency+Structure+Matrix+Modelling+for+Stakeholder+ValueNetworks>
9. McAvoy J., Butler T. A failure to learn in a software development team: the unsuccessful introduction of an agile method // *Information systems development*. Springer, 2009. P. 1–13.
10. Conforto E. C., Salum F., Amaral D. C., Da Silva S. L., De Almeida L. F. M. Can agile project management be adopted by industries other than software development? // *Proj Manag J*. 2014. № 45 (3). P. 21–34.
11. Kolisch R. Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation // *European J Oper Res*. 1996. № 90 (2). P. 320–33.
12. Vanhoucke M. Measuring the efficiency of project control using fictitious and empirical project data // *Int J Proj Manag*. 2012. № 30 (2). P. 252–63.
13. Brucker P., Drexl A., Mohring R., Neumann K., Pesch E. Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods // *Eur J Oper Res*. 1999. № 112 (1). P. 3–41.
14. Franco-Duran D. M., Garza J. M. Review of resource-constrained scheduling algorithms [Электронный ресурс] // *J Constr Eng Manag*. 2019. № 145 (11). URL: <https://scholar.google.com/citations?user=YmSChwYAAAAJ&hl=en>
15. Kosztyán Z. T., Szalkai I. Hybrid time-quality-cost trade-off problems [Электронный ресурс] // *Oper Res Perspect*. 2018. № 5. P. 1–36. URL: <http://real.mtak.hu/86160/1/2-hybrid-time-quality.pdf>
16. Steven D., Eppinger, Tyson R. *Design Structure Matrix, Methods and Applications* Browning MIT Press. Cambridge, 2012. 352 p.
17. Орлов А. И. Новый подход к изучению устойчивости выводов в математических моделях // *Научный журнал КубГАУ*. 2014. № 100. С. 1–30.
18. Катаев А. В., Катаева Т. М., Макарова Е. Л. Управление проектами: математические модели оптимального назначения исполнителей проектных работ [Электронный ресурс] // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право*. 2016 Т. 16, вып. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-proektami-matematicheskie-modeli-optimalnogo-naznacheniya-ispolniteley-proektnyh-rabot>
19. Сорокин Л. В., Баранова Н. М. Применение системы MATLAB для развития методов математического мышления у студентов экономических специальностей [Электронный ресурс] // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 11 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sistemy-matlab-dlya-razvitiya-metodov-matematicheskogo-myshleniya-u-studentov-ekonomicheskikh-spetsialnostey>
20. Servranckха T., Vanhoucke M. Strategies for project scheduling with alternative subgraphs under uncertainty: similar and dissimilar sets of schedules // *European Journal of Operational Research*. 2019. Vol. 279, issue 1, 16 November. P. 38–53.

References

1. Asaul A. N., Knyaz I. P., Korotaeva Yu. V. Theory and practice of decision-making on organizations' way out of crisis / ed. by A. N. Asaul. St. Petersburg: Institute of Problems of Economic Revival, 2007 224 p.
2. Dudnikov A. V. Analysis of the current state of the level of project management in the organization [Electronic resource] // Modern management technologies. 2021. № 3 (96). URL: <https://sovman.ru/article/9614/>
3. Wysocki R. K. Effective project management: Traditional, agile, extreme, hybrid. John Wiley & Sons, 2019. 656 p.
4. Zsolt T., Gergely, L. N., Csaba H. Survive IT! Survival analysis of IT project planning approaches [Electronic resource] // Operations Research Perspectives. 2020. Vol. 7. URL: https://www.researchgate.net/publication/346872557_Survive_IT_Survival_analysis_of_IT_project_planning_approaches
5. Steward D. The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems // IEEE Transactions on Engineering Management. 1981. № 28 (3). P. 71–74.
6. Kosztyán Z. T., Szalkai I. Multimode resource-constrained project scheduling in flexible projects // J Global Optim. 2020. № 76 (1). P. 211–41.
7. Zsolt T. MFPP: Matrix-based flexible project planning, scheduling, and risk analysis for traditional, agile, and hybrid project management [Electronic resource] // SoftwareX. 2022. № 17. URL: [https://www.softxjournal.com/article/S2352-7110\(22\)00001-2/pdf](https://www.softxjournal.com/article/S2352-7110(22)00001-2/pdf)
8. Wen F., Edward F., Crawley O., de Weck L., Robinson B. Dependency structure matrix modelling for stakeholder value networks [Electronic resource] // Managing Complexity by Modelling Dependencies: Proceedings of the 12-th International DSM Conference. Cambridge, UK, 2010. URL: <https://www.designsociety.org/publication/30353/Dependency+Structure+Matrix+Modelling+for+Stakeholder+ValueNetworks>
9. McAvoy J., Butler T. A failure to learn in a software development team: the unsuccessful introduction of an agile method // Information systems development. Springer, 2009. P. 1–13.
10. Conforto E. C., Salum F., Amaral D. C., Da Silva S. L., De Almeida L. F. M. Can agile project management be adopted by industries other than software development? // Proj Manag J. 2014. № 45 (3). P. 21–34.
11. Kolisch R. Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation // European J Oper Res. 1996. № 90 (2). P. 320–33.
12. Vanhoucke M. Measuring the efficiency of project control using fictitious and empirical project data // Int J Proj Manag. 2012. № 30 (2). P. 252–63.
13. Brucker P., Drexl A., Mohring R., Neumann K., Pesch E. Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods // Eur J Oper Res. 1999. № 112 (1). P. 3–41.
14. Franco-Duran D. M., Garza J. M. Review of resource-constrained scheduling algorithms [Electronic resource] // J Constr Eng Manag. 2019. № 145 (11). URL: <https://scholar.google.com/citations?user=YmSChwYAAAAJ&hl=en>
15. Kosztyán Z. T., Szalkai I. Hybrid time-quality-cost trade-off problems [Electronic resource] // Oper Res Perspect. 2018. № 5. P. 1–36. URL: <http://real.mtak.hu/86160/1/2-hybrid-time-quality.pdf>
16. Steven D., Eppinger, Tyson R. Design Structure Matrix, Methods and Applications Browning MIT Press. Cambridge, 2012. 352 p.

17. Orlov A. I. A new approach to the study of the stability of conclusions in mathematical models // Scientific Journal of KubGAU. 2014. № 100. P. 1–30.
18. Kataev A. V., Kataeva T. M., Makarova E. L. Project management: mathematical models of optimal assignment of project work performers [Electronic resource] // Izvestiya Saratov University. A new series. Economics series. Management. Right. 2016. Vol. 16, issue 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-proektami-matematicheskie-modeli-optimalnogo-naznacheniya-ispolniteley-proektnyh-rabot>
19. Sorokin L. V., Baranova N. M. Application of the MATLAB system for the development of mathematical thinking methods among students of economic specialties [Electronic resource] // International Research Journal. 2015. № 11 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-sistemy-matlab-dlya-razvitiya-metodov-matematicheskogo-myshleniya-u-studentov-ekonomicheskikh-spetsialnostey>
20. Servranckxa T., Vanhoucke M. Strategies for project scheduling with alternative subgraphs under uncertainty: similar and dissimilar sets of schedules // European Journal of Operational Research. 2019. Vol. 279, issue 1, 16 November. P. 38–53.