

## Анализ подходов к моделированию изолированного уникального проекта

*А.Н. Пунтиков, А.Н. Шиков*

*Северо-Западный институт управления РАНХиГС, Санкт-Петербург*

**Аннотация:** В работе исследуются основные подходы к моделированию изолированного уникального проекта. Цель исследования в выявлении ограничений в применении математических моделей, которые принято использовать в теории проектного менеджмента, и преодолении этого порога сложности, чтобы стать основой нового научного подхода к управлению проектами. Математическое моделирование при рассмотрении уникального изолированного проекта затруднено из-за того, что последний представляет из себя принципиально нестационарную систему с нелинейным откликом на возмущения (управляющее воздействие и рисковые события). В работе рассмотрены критерии, по которым было бы возможно оценить перспективность математической модели, пригодной для практического применения при управлении уникальным изолированным проектом, и предложен ряд возможных подходов для построения такого рода модели. Все четыре предложенных подхода на сегодняшний день мало освещены в научной литературе и представляют интерес для дальнейших исследований. Сделан вывод о том, что классические подходы, основанные на стационарных решениях, такие, как теория игр или теория очередей, оказываются не в состоянии предложить адекватные модели. В результате исследования доказано, что при управлении изолированным уникальным проектом ключевым фактором является не среднее время выполнения, а вероятность уложиться в заданный срок, то есть медианная характеристика срока, при этом управленческие решения, как правило, приводят к разнонаправленной динамике среднего и медианного сроков.

**Ключевые слова:** изолированный уникальный проект, проектное управление, модель проекта, неопределенность сроков проекта, требования к проекту.

Сравнительно просто описываются системы из двух взаимодействующих элементов, но доказано, что не поддаются исчерпывающему описанию системы из нескольких элементов, так и в проектном управлении однозначно можно математически описать лишь простой абстрактный случай, когда параметров проекта предельно мало. Такие модели разрабатываются и представляют теоретический интерес, но справедливо критикуются, как слишком оторванные от реальности [1,2]. Такой подход хорошо работает для операционного управления, когда можно говорить о существовании стационарного потока, который описывается конечным списком характеристик, и возможно эмпирически вывести между

---

этим характеристиками определенные соотношения. Под изолированным уникальным проектом обычно понимается проект, который обладает собственными уникальными признаками и не имеет аналогов. Постоянно действующую организацию можно описывать с точки зрения, например, финансового, информационного, материального или клиентского потока. Можно, усредняя по длительным промежуткам времени, описывать потоки рисков или инноваций. Можно исследовать реакцию такой системы на малые возмущения, пока реакция на них линейная и эластичная. Но для проектного управления стационарный подход не работает, поскольку единичный проект система нелинейная и до определенной степени хаотическая.

При переходе между уровнями описания, чрезвычайно важно понимать то, что для нелинейных систем на макроуровне можно использовать такие характеристики, для которых верна эргодическая гипотеза – системы, описываемые одинаковыми значениями выбранных характеристик, можно считать эквивалентными. Но к таким характеристикам не относятся ни среднее время выполнения проекта, ни вероятность его успеха. Поскольку проект, который равновероятно будет закончен за 15 минут или за год, отнюдь не эквивалентен проекту, который будет закончен ровно через полгода. Руководитель проекта обязан принимать во внимание не только среднее значение, но и дисперсию, медианные значения и всевозможные экстремумы характеристик проекта для разных путей его развития.

Для любого достаточно сложного проекта нетривиальные управленческие решения в большинстве своем приводят к разнонаправленной динамике наиболее вероятных, медианных и средних значений его значимых характеристик. Нетривиальными считаются такие решения, которые не приводят к однозначно положительным результатам с точки зрения упомянутых характеристик, а лишь изменяют профиль вероятности уложиться в тот или иной срок, бюджет, объем или, например,

---

требования по качеству. И большинство решений в проектном управлении, как раз такие.

В то же время, решения, которые позволяют раньше выполнить наиболее рискованные этапы, могут привести к увеличению среднего срока, зато повышают вероятность уложиться точно в срок [3]. В терминологии PMI – работа с высоковероятными, но не опасными рисками характерна для проектного подхода к управлению, поскольку повышает вероятность успеха, а работа с маловероятными, но дорогостоящими рисками – для операционного, поскольку сокращает среднюю продолжительность проектов. Адекватная модель должна классифицировать риски по меньшей мере по двум параметрам и учитывать их динамику.

Многие исследователи [4,5] используют экспоненциальное приближение для вероятности завершения проекта в определенный срок, то есть считают вероятность закончить проект на каждом шаге одинаковой, усредняя все риски за весь срок как по вероятности, так и по степени влияния на цели проекта. Такие модели могут подойти для того, чтобы делать выводы в пределах проектно-ориентированной организации, при управлении проектами на уровне портфеля, когда ресурсы передаются от одного проекта к другому [6]. Для изолированного уникального проекта, те решения, которые принимаются опытными проектными менеджерами, вообще не могут быть смоделированы в рамках экспоненциальной модели, усредняющей риски.

При этом самая сложная и не поддающаяся описанию область проектного управления, которая при этом нуждается в максимально проработанной теоретической базе, это как раз управление изолированным проектом. Такие инструменты, как метод критического пути, метод критической цепи, техника оценки и анализа программ, анализ соотношения затрат и времени и т.д., являясь предметом наиболее интенсивной научной

---

проработки в сфере проектного управления, созданы именно для работы с уникальными изолированными проектами. Команды проваленных проектов часто оправдываются тем, что «до нас этого еще никто не делал», «наш проект уникален, а поэтому непредсказуем» [7], поэтому целесообразно найти такую математическую модель, которая бы позволила параметризовать изолированный уникальный проект.

Помимо управления портфелем или потоком проектов, экспоненциальные модели могут быть применены к в работе с календарным планом в пределах проекта. Любой проект — это последовательность работ, каждая из которых может рассматриваться в такой модели изолировано в стохастическом приближении, то есть с экспоненциальным распределением срока выполнения [8]. Тогда существует возможность, что модель предложит такие перестановки в календарном плане работ, либо такое перераспределение ресурсов между ними, которые приведут к разнонаправленному движению моды, медианы и среднего, т.е. смоделировать нетривиальные управленческие решения. До определенной степени это действительно так, но тогда невозможен пересмотр самого списка работ, стратегического подхода к проекту, решений, которые затрагивают весь список работ одновременно, а значительная часть нетривиальных управленческих решений, как раз в этом и заключаются.

Пригодная для практического применения математическая модель обязана не только различать решения по тому, как они влияют на средние и медианные значения, но и предлагать максимально широкий спектр возможных решений для анализа. Сформулируем требования к математической модели, которая позволила бы принимать или проверять нетривиальные управленческие решения в изолированном проекте:

- Модель должна позволять принимать различные решения на разных этапах проекта в зависимости от его истории.
-

- Модель должна отражать разнонаправленную динамику моды, медианы и среднего значения для ключевых параметров проекта.
- Модель должна классифицировать риски как минимум в двух измерениях и учитывать их динамику.
- Модель должна оперировать максимально широким спектром возможных решений, в частности позволять не только перемещать, но и удалять или добавлять работы в проект.

Достаточно популярный подход к моделированию любых процессов управления, в том числе проектного управления — теория очередей. Математический аппарат теории очередей является очень удобным для описания эволюции проекта, по той причине, что полученные эмпирически распределения вероятности выполнения реальных проектов в тот или иной срок, близки к экспоненциальным, в особенности на больших временах. А именно такое распределение вероятности сроков дает используемые в теории очередей марковские процессы, то есть системы без памяти, которые равновероятно могут завершить работу на каждом такте. В этом случае становится обоснованным подход к проекту, как к черному ящику, который характеризуется единственным параметром — коэффициентом в показателе экспоненты, который обратно пропорционален вероятности завершить работу в единицу времени.

Аналогичные предположения делаются относительно вероятности провала проекта, то есть проект считается проваленным не при наступлении определенного дедлайна, как, например, в статье [9], а равновероятно на любом такте или шаге. Такая модель поведения заказчиков обоснована в теории очередей, но при моделировании потока проектов сама постановка задачи должна настораживать уже потому, что при таком рассмотрении, сокращение среднего срока выполнения проектов и сокращение числа пропущенных дедлайнов, оказываются математически абсолютно

---

эквивалентными, что в принципе не оставляет места для нетривиальных управленческих решений.

В результате проведенного анализа при таких допущениях, можно сделать вывод, что для любых заданных разумных параметров существует некое идеальное количество принимаемых одновременно проектов. Небольшие компании, как правило, стараются брать все проекты, до которых только могут дотянуться, без учета имеющихся в их распоряжении ресурсов. Такая стратегия систематически становится популярной на высококонкурентном рынке, значит, ошибка в данном случае в применении теории.

Модель теории очередей всегда будет приводить к подобным выводам, независимо от того, каким образом моделируется окружающая среда. Если есть конечная пропускная способность терминала (команды проекта), то существует оптимальный размер буфера из задач перед ним. В качестве источника задач может выступать поток проектов, поток задач в рамках проекта, поток рискованных событий или какой угодно простейший (пуассоновский) поток. Ильяху Голдратт строит вокруг этой концепции целый курс, который в качестве первого шага преодоления проблем управления в мультипроектном окружении, предписывает существенно сократить количество одновременных проектов [10]. Знание о том, как изменится среднее время выполнения проекта в зависимости от тех или иных решений, не позволяет делать предположения относительно влияния этих решений на длительность текущего отдельно взятого проекта.

В самом общем виде любая система моделируется согласно следующей схеме, представленной на рисунке 1. Каждая из указанных функций может быть сколь угодно сложной и зависеть от произвольного числа параметров. Процесс моделирования заключается в том, чтобы, делая различные допущения относительно характера перечисленных функций, получать

---

поддающиеся расчетам модели, параметры которых можно связать с измеримыми и наблюдаемыми в реальном мире характеристиками.

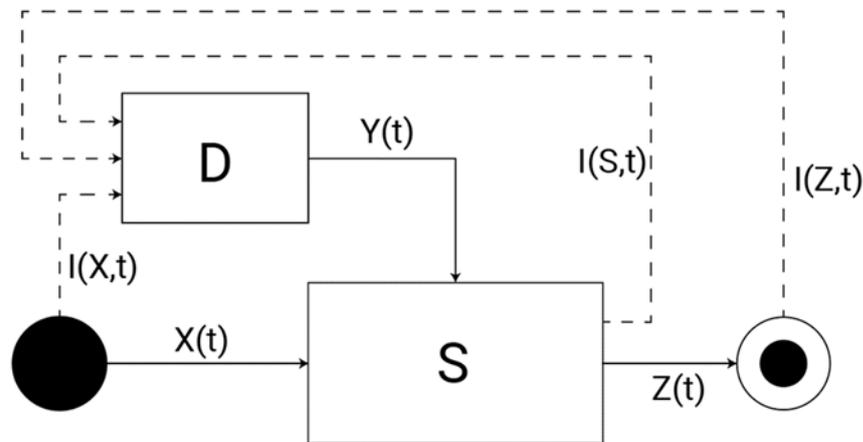


Рисунок 1 – Общая схема моделирования в проектном управлении (где  $D$  – управляющая система (менеджер),  $S$  – управляемая система (проект),  $X(t)$  – поток событий из внешней среды в систему,  $Z(t)$  – поток реакции системы,  $I(S,t)$  – информация о состоянии системы, о том,  $I(X,t)$  – входящая информация,  $I(Z,t)$  – информация на выходе системы,  $Y(t)$  – управляющее воздействие)

В рассмотренной выше теории очередей, поток возмущений  $X(t)$  принимается за простейший пуассоновский поток с единственной характеристикой – частота событий, а система описывается количеством обработчиков и их занятостью.

Популярные допущения, характеризующие такую общую модель функций включают: допущение черного ящика, когда  $I(S,t)$  принимается за ноль и менеджер не видит внутренней архитектуры системы; допущение стационарного потока, когда считается, что можно выбрать такие параметры, чтобы либо вообще все элементы, либо такие элементы, при которых состояние системы  $S$ , от времени не зависело; эквивиальное допущение, когда независимым от времени считается  $Z$ , а  $Y(t)$  всегда в точности компенсирует  $X(t)$ .

Проблема в том, что для моделирования жизненного цикла изолированного проекта такая укрупненная модель не подходит в принципе. Она сама по себе является упрощением, поскольку не подразумевает наличия

обратной связи между средой и системой, то есть окружающая среда считается нечувствительной по отношению к возмущениям, порождаемым самой системой. Это, в свою очередь, означает, что в систему при таком описании включены все задействованные в проекте ресурсы, подрядчики, финансы и так далее, а поток событий  $X(t)$  для изолированного проекта сводится к единичному событию – инициация проекта, а потом содержит только внешние независимые рисковые события. Наблюдаемое нестабильное поведение больших и сложных проектов не может быть описано в таком классическом приближении замкнутой системы [11].

Из-за того, что задача получается слишком сложной для моделирования, развитие получили методологии, которые позволяют принимать решения не на основе моделирования, а на основе систематизации интуиции экспертов - методы многокритериального принятия решений (MCDM). Интенсивное развитие искусственного интеллекта в последние годы предполагает значительное увеличение качества принимаемых с помощью таких методик решений, поскольку AI может принимать во внимание уже не десятки, а буквально тысячи факторов [12, 13].

Как и в случае принятия решений экспертами с помощью методов многокритериального принятия решений, так и в случае использования искусственного интеллекта, который предсказывает поведение системы благодаря анализу большого количества данных о ее предыдущем поведении, нельзя говорить о существовании математической модели. Из такого рода прогнозов чрезвычайно сложно выделить информацию о том, по каким законам система развивается. Моделирование – это всегда та или иная форма обобщения, которая оценивается по соотношению универсальности и прогностической силы, а общий системный подход с применением методов MCDM и/или машинного обучения, в современном его состоянии, безнадежно проигрывает в плане универсальности.

---

Теория игр — это математическая теория, которая часто применяется при моделировании в проектном управлении. Она основывается на предсказуемой динамике коллективного поведения. «Игры против природы», когда игрок только один, и это можно считать вырожденным случаем, для которого на сегодняшний день в теории игр нет разработанного математического аппарата. Для моделирования с помощью теории игр всегда требуется та или иная форма конкуренции (или кооперации) независимых участников. Для проектного управления на уровне портфеля заказов - это конкуренция между проектами, подрядчиками или направлениями [14,15]. А для управления изолированным проектом это может быть, например, конкуренция между стейкхолдерами или отдельными работами в пределах проекта. Модель, которая бы использовала такой подход, наверняка соответствовала бы третьему и четвертому из предложенных критериев практической пригодности математической модели для описания динамики изолированного проекта, и позволила бы менеджеру принимать нетривиальные решения относительно перераспределения ресурсов в пользу работы с теми рисками, которые могли бы не реализовать проект.

Даже в той области проектного управления, где теория игр является наиболее естественным подходом к моделированию (при поиске системы организации работы с конкурирующими подрядчиками), для уникальных изолированных проектов теоретико-игровой подход сталкивается со сложностями. Существует принципиальная разница, между подрядчиками для организации и для проекта, поскольку для последних определяющими являются не соотношение цена-качество или своевременность поставки, а соответствие единственному требованию, чтобы работа подрядчика, позволила закончить проект в пределах требований. Но множество подрядчиков, работа каждого из которых оценивается не по его вкладу, а по совокупному с остальными подрядчиками результату, плохо поддаются

---

теоретико-игровому анализу из-за сложности описания механизмов их координации.

«Игрок» в теоретико-игровом подходе к проектному управлению не обязательно должен соответствовать какому-либо стейкхолдеру или другой сущности. Очень часто противопоставляются интересы менеджера проекта такой виртуальной сущности, как «выбор критериев оценки», для площадки под строительство или объекта инвестирования. Возможно и построение такой теоретико-игровой модели, в рамках которой конкурировали бы стратегии отбора работ (четвертое требование), риски (третье требование), стратегии, фокусирующиеся на различных аспектах проекта в целом (второе требование), или даже интересы проекта на различных этапах (первое требование). Однако даже самый тщательный разбор исследований, посвященных теоретико-игровым моделям в проектном управлении [16], подобных моделей не выявил.

Рассмотренные выше известные подходы к математическому моделированию управления проектами создают базу для того, чтобы предложить более актуальную модель, которая бы могла достаточно точно описывать и предсказывать его динамику. Наиболее перспективными подходами являются анализ больших данных и машинное обучение.

При этом подходе анализируются либо большие объемы данных об уже завершенных проектах, либо результаты самообучения нейронной сети, чтобы вывести логику, по которой организуются ее промежуточные слои. В некотором смысле это классический подход к моделированию путем поиска наиболее значимых комбинаций параметров, только с применением машинного обучения. Подобные методы успешно используются, где искусственный интеллект сначала сам обучается игре, а затем человек вычленяет получившийся в ходе этого обучения алгоритм оценки позиции, либо большое количество данных о фактически сыгранных партиях

---

аккумулируется и анализируется с применением машинного обучения [17, 18].

Вероятно, существуют такие параметры, при использовании которых пропадают все эффекты второго порядка, которые приводят к наблюдаемому хаотическому развитию проектов. Если они существуют, то можно было бы предложить методологии быстрой оценки этих параметров и, соответственно, прогнозировать динамику проектов. Может оказаться, что эти параметры как-то связаны с классификацией, распределением рисков и обладают собственной сложной динамикой, а модели, основанные на таких параметрах, будут удовлетворять большинству предложенных критериев. Для поиска таких скрытых параметров наилучшим образом подходит анализ больших данных и машинное обучение. В области проектного управления, имеющиеся датасеты достаточно скромны и проводимые в этой сфере исследования преимущественно сосредоточены на методиках обучения искусственного интеллекта, чтобы получать эффективные инструменты для оценок в своем проектном окружении [19], а не на построении универсальных математических моделей.

Как следует из приведенного выше анализа требований к практически полезным математическим моделям, одним из ключевых аспектов, который необходимо учитывать при описании развития проекта во времени, является учет памяти системы, т.е. принципиально нестационарный характер развития описываемой системы (проект по определению имеет начало и конец) требует моделей, в которых текущее состояние системы зависит от всех предыдущих ее состояний. Именно такие системы описываются в рамках фрактального анализа.

Основным допущением для таких моделей является наличие у системы долгосрочной памяти, обусловленной медленно убывающей зависимостью автокорреляционной функции от времени [8]. Перспективность данного

---

подхода к моделированию динамики изолированного проекта подтверждается эмпирическими наблюдениями. Для широкого класса проектов (например, исследовательских) прогнозируемое время окончания не просто не убывает, а быстро растет со временем. В такой ситуации говорят, что распределение вероятности срока выполнения проекта обладает «тяжелым хвостом» (то есть со временем убывает не по экспоненциальному, а по степенному закону), и именно такого рода динамика стохастических процессов получается во фрактальных моделях.

Многочастичные функции распределения обладают принципиально хаотической динамикой в фазовом пространстве макроскопически большого количества измерений, это выглядит чрезвычайно похоже на описание динамики сложного плохо параметризуемого проекта. Даже самый сложный проект не может иметь  $10^{23}$  параметров, но математический аппарат статистической физики развивается уже более 70 лет и его адаптация выглядит чрезвычайно перспективной для описания хаотически развивающегося проекта.

Основой статистического анализа является поиск симметрий и инвариантов, таких областей фазового пространства, за пределы которого функция состояния системы выйти не может, а все состояния внутри такой области равновероятны. В зависимости от внешних условий для системы подбираются различные ансамбли состояний, описывается их динамика и связь с макроскопическими характеристиками системы. Такие модели успешно описывают всевозможные формы турбулентного поведения, спонтанного нарушения симметрии и других эффектов, которые характерны для динамики реальных проектов. Принципиально использование таких моделей будет соответствовать (по меньшей мере) ключевому критерию – наличию памяти у модели, описывающей проект.

---

### ***Выводы и рекомендации***

Применяемые сегодня математические модели в проектном управлении, как правило, используют прямое усреднение, как по воздействию (рискам), так и по отклику (результату) системы. Такие модели не могут описать нелинейные эффекты, на их основе не могут быть приняты решения, связанные с пересмотром состава усредняемых величин, например, пересмотр состава работ или перераспределение рисков в пределах проекта. В представленном исследовании разработаны четыре ключевых требования к математической модели, которую можно эффективно использовать для принятия нетривиальных управленческих решений в рамках изолированного проекта. Это требования наличия у проекта памяти (недопустимость усреднения величин по всей протяженности проекта), дифференцирование управленческих решений по их влиянию на распределение вероятности разных сроков реализации проекта, разграничение типов рисков и максимально широкий возможный спектр решений менеджера, которые укладываются в модель.

Сопоставление представленных четырех требований с моделями, получаемыми при использовании теории очередей, общего системного подхода и теории игр, выявило ряд слабых мест в этих теориях. В качестве альтернативы были предложены такие направления исследований, как анализ больших данных или результатов машинного обучения для поиска наиболее адекватных параметров, фрактальный и мультифрактальный анализ. Каждое из перечисленных направлений позволяет преодолеть разрыв между теоретическим описанием изолированных уникальных проектов и эмпирическим подходом профессиональных менеджеров проектов.

## Литература

1. Kembłowski M., Grzyl B., Siemaszko A. Game Theory Analysis of Bidding for A Construction Contract // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Т. 245. 062047.
2. Piraveenan M. Applications of Game Theory in Project Management: A Structured Review and Analysis // Mathematics. 2019. Vol. 7. Applications of Game Theory in Project Management. № 9. P. 858.
3. Шиков А.Н., Пунтиков А.Н. Алгоритм разбиения проекта на партии при гибких технологиях планирования // Экономика. Право. Инновации. 2023. № 4. С. 81-91.
4. Bai Jiayu, Kut C. So, Tang C. A queueing model for managing small projects under uncertainties // European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 253. № 3. pp. 777-790.
5. Пунтиков А.Н., Шиков А.Н. Проблемы в проектном управлении при несовместимости требований в отношении вероятного срока окончания проекта // Прикладная математика и вопросы управления. 2024. № 2. С. 123-138.
6. Adler P. From Project to Process Management: An Empirically-Based Framework for Analyzing Product Development Time // Management Science. 1995. Т. 41. From Project to Process Management. pp. 458-484.
7. DeMarco T. Lister Waltzing With Bears: Managing Risk on Software Projects. Waltzing With Bears // New York: Dorset House, 2003. P. 144.
8. Mahdi M. N. Software Project Management Using Machine Learning Technique — A Review // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. № 11. P. 5183.
9. Gromoll H. C. The impact of renegeing in processor sharing queues // Proceedings Sigmetrics. Performance 2006 (Saint-Malo, France, June 26-30, 2006). pp. 87-96.

10. GSP on Project Management and Engineering - Critical Chain (CCPM) and Product Development: Goldratt Marketing G. Marketing – Presents the Critical Chain Project management (CCPM) solution for your organization. URL: [toc-goldratt.com/en/product/gsp-on-project-management-and-engineering-critical-chain-ccpm-and-product-development](http://toc-goldratt.com/en/product/gsp-on-project-management-and-engineering-critical-chain-ccpm-and-product-development) (Дата обращения: 17.01.2026)
  11. Prieto R. Quantum Project Management, Large Complex Projects, and Entanglement // 2024. pp. 2330-4480.
  12. Sahoo S. K., Goswami S. A. Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions // Decision Making Advances. 2023. Т. 1. A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods. pp. 25-48.
  13. Pasupuleti M. B. The Application of Machine Learning Techniques in Software Project Management - An Examination // ABC Journal of Advanced Research. 2018. Vol. 7. № 2. pp.113-122.
  14. Medda F. A game theory approach for the allocation of risks in transport public private partnerships // International Journal of Project Management. 2007. Т. 25. № 3. pp. 213-218.
  15. Bakshi T., Sarkar B., Sanyal S.K. A new soft-computing based framework for project management using game theory // International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems (CODIS). 2012. pp. 282-285.
  16. Piraveenan M. Applications of Game Theory in Project Management: A Structured Review and Analysis // Mathematics. Vol. 7. Applications of Game Theory in Project Management. 2019. № 9. P. 858.
  17. Gupta A., Grattoni C. Determining Chess Piece Values Using Machine Learning // Journal of Student Research. 2023. Vol. 12. № 1. pp. 1-20.
  18. Burduli G., Wu J. Time management in a chess game through machine learning // International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. 2023. Т. 38, № 1. pp. 14-34.
-

19. Sahoo S. K., Goswami S. A. Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions // Decision Making Advances. 2023. Т. 1. A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods. pp. 25-48.

### References

1. Kembłowski M., Grzyl B., Siemaszko A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Т. 245. 062047.
2. Piraveenan M. Mathematics. 2019. Vol. 7. Applications of Game Theory in Project Management. № 9. P. 858.
3. Shikov A.N., Puntikov A.N. Pravo. Innovacii. 2023. № 4. pp. 81-91.
4. Bai Jiaru, Kut C. So, Tang C. European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 253. № 3. pp. 777-790.
5. Puntikov A.N., Shikov A.N. Prikladnaya matematika i voprosy upravleniya. 2024. № 2. pp. 123-138.
6. Adler P. Management Science. 1995. Т. 41. From Project to Process Management. pp. 458-484.
7. DeMarco T. Lister Waltzing With Bears: Managing Risk on Software Projects. Waltzing With Bears. New York: Dorset House, 2003. P. 144.
8. Mahdi M. N. Applied Sciences. 2021. Vol. 11. № 11. P. 5183.
9. Gromoll H. C. The impact of renegeing in processor sharing queues. Proceedings Sigmetrics. Performance 2006 (Saint-Malo, France, June 26-30, 2006). pp. 87-96.
10. GSP on Project Management and Engineering - Critical Chain (CCPM) and Product Development: Goldratt Marketing G. Marketing – Presents the Critical Chain Project management (CCPM) solution for your organization. URL: [toc-goldratt.com/en/product/gsp-on-project-management-and-engineering-critical-chain-ccpm-and-product-development](http://toc-goldratt.com/en/product/gsp-on-project-management-and-engineering-critical-chain-ccpm-and-product-development) (Date assessed: 17.01.2026)



11. Prieto R. Quantum Project Management, Large Complex Projects, and Entanglement. 2024. pp. 2330-4480.
12. Sahoo S. K., Goswami S. A. Decision Making Advances. 2023. Т. 1. A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods. pp. 25-48.
13. Pasupuleti M. B. ABC Journal of Advanced Research. 2018. Vol. 7. № 2. Pp.113-122.
14. Medda F. International Journal of Project Management. 2007. Т. 25. № 3. pp. 213-218.
15. Bakshi T., Sarkar B., Sanyal S.K. International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems (CODIS). 2012. pp. 282-285.
16. Piraveenan M. Applications of Game Theory in Project Management: A Structured Review and Analysis. Mathematics. Vol. 7. Applications of Game Theory in Project Management. 2019. № 9. P. 858.
17. Gupta A., Grattoni C. Journal of Student Research. 2023. Vol. 12. № 1. pp. 1-20.
18. Burduli G., Wu J. International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. 2023. Т. 38, № 1. pp. 1-20.
19. Sahoo S. K., Goswami S. A. Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. Decision Making Advances. 2023. Т. 1. A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods. pp. 25-48.

**Авторы согласны на обработку и хранение персональных данных.**

**Дата поступления: 23.01.2026**

**Дата публикации: 28.02.2026**