

ПРИКЛАДНЫЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ, ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ В ПРАКТИКЕ УПРАВЛЕНИЯ

Н.Ю. Просвиркин

*Самарский государственный аэрокосмический университет
им. академика С.П.Королева, Самара, Россия*

Многие задачи управления в экономической сфере, так же, как и в инженерной среде, имеют по своему существу многокритериальную природу. В своем большинстве с улучшением одних критериев, другие ухудшаются. Например, в процессе проектирования и разработки механизмов, а также конструкций необходимо учитывать множество различных противоречивых критериев, таких как: долговечность, энергоемкость, длительность цикла исполнения заказа, КПД, габариты, и др.

Аналогичные вопросы возникают в большинстве прикладных задач в различных сферах: в машиностроении и энергетике, химии и медицине. Кроме того при исследовании и проектировании технологических процессов и процессов управления и т. д.

Следует отметить, что одним из самых первых подходов по принятию компромиссных решений при нескольких, а точнее двух критериях является метод “стоимость–эффективность”. Метод разработан в середине прошлого века в США для решения военных задач. В годы “холодной войны” США и СССР основной была задача эффективности системы нападения с целью преодоления защиты потенциального врага. Суть метода «стоимость–эффективность» состоит в следующем:

- осуществляется построение модели эффективности;
- осуществляется построение модели стоимости;
- производится синтез оценок стоимости и эффективности.

В модели две части – модель стоимости и модель эффективности. Модели необходимы для выбора системы военного расположения с расчетным числом ракет. В модели стоимости представлена зависимость совокупной стоимости от общего количества ракет. В модели эффективности определена зависимость вероятности поражения целей от общего количества ракет.

Описанные модели рассматриваются как объективные, так как построены они на базе фактических статистических материалов. Следует отметить, что выходные параметры моделей не объединялись на основании

заданной зависимости. При решении использовались суждения руководителей, которые определяли лимитные значения затрат, которые необходимо понести для достижения значений эффективности.

Модель «стоимость–эффективность» отличается от типичных моделей исследования операций тем, что в ней используются субъективные суждения при выборе решения между стоимостью и эффективностью. Такой подход представляет собой, по – сути, некий синтез математических и экспертных методов.

В настоящее время в практике управления решен большой перечень многокритериальных задач. Автором проанализирован достаточно объемный материал по исследованному вопросу. Ниже приведен обзор многокритериальных задач, встречающихся в практике управления в различных сферах.

В случае *организации видов движения материальных потоков в логистике* решается многокритериальная задача. Задачей данного типа является организация видов движения материальных потоков в зависимости от внешних факторов и, в частности, времени выполнения заказа. Осуществляется расчёт различных вариантов организации движения материальных потоков: для последовательного вида движения, для параллельного вида движения, для смешанного вида движения. При этом учитываются критерии затрат времени и финансов. К сожалению, с сокращением времени выполнения заказа увеличиваются издержки на выполнение и, соответственно, наоборот. Недостатком является то, что не учитывается загрузка оборудования. В такой задаче менеджер должен определить, какой вид движения предпочтительнее для конкретной ситуации.

При решении *задач оптимизации взаимодействия организационных структур, входящих в ФПГ и оптимизации механизмов управления в корпоративных системах*, также решаются многокритериальные задачи. В таких задачах доказываемость многокритериальности взаимодействий, как подразделений организаций, так и различных организаций в рамках ФПГ и корпораций. В итоге, решаются вопросы внутрифирменного и межфирменного взаимодействия и проблемы согласования экономических интересов. В задачах учтено наличие четырех критериев: структурная избыточность; неравномерность распределения связей; структурная компактность; индекс центральности. Целью решения многокритериальной задачи является

построение максимально устойчивой, компактной, централизованной и, вместе с тем, экономичной структуры. Однако с увеличением устойчивости структуры посредством добавления в нее новых хозяйствующих субъектов с набором экономических связей между ними неизбежно происходит бюрократизация системы, и серьезно возрастают расходы на ее содержание. Как следствие возникают серьезные противоречия. Сложность подобных вопросов обусловила появление сложных математических моделей, адекватно отображающих рассматриваемую проблему и ее многоцелевой характер. По этой причине при решении сформулированной проблемы применяются модели многокритериальной оптимизации. К недостаткам решения таких задач следует отнести сложность сбора исходной информации и учет лишь затрат на содержание структур в отрыве от совокупных издержек.

Целью *решения задач оптимизации системы поставок и товародвижения для розничных торговых сетей* является повышение эффективности функционирования розничных торговых сетей за счет использования модели и алгоритмов оптимизации. Основными критериями оптимизации в таких задачах являются: минимизация издержек товародвижения, минимизация времени доставки товаров, максимизация загрузки складского хозяйства и транспорта. Приведенные критерии оптимизации находятся в существенном экономическом противоречии, так как с сокращением сроков поставки товара от производителя к потребителю возрастают транспортно – заготовительные издержки и затраты организации, связанные с хранением. Транспортно – заготовительные издержки элементов системы возрастают при сокращении сроков поставки, так как в этом случае необходимо использовать более мобильный транспорт для доставки груза, существенно возрастают сопутствующие расходы. Затраты на хранение груза также возрастают, что связано, прежде всего, с необходимостью поддержания большого количества продукции на складах. Кроме того, каждый элемент системы поставок заинтересован в повышении коэффициентов загрузки. Однако при увеличении коэффициентов загрузки возрастает время доставки продукции до потребителя.

В *задачах проектирования* следует выделить задачи, в которых используется метод конечных элементов. Это, прежде всего, многочисленные задачи динамики, прочности, теплофизики и др. В *задачах проектирования регулируемых инженерных систем*, определено, что вектор варьируемых

параметров может содержать два типа параметров: параметры, которые в процессе эксплуатации объекта не изменяются (являются неуправляемыми параметрами), и параметры, которые можно изменять (параметры управления). В связи с этим рассматривается новый подход к выбору оптимальных параметров таких систем. Также большим и важным классом инженерных задач являются *задачи доводки опытных образцов и улучшения прототипа*. При решении таких задач вначале идентифицируется математическая модель и ее параметры по критериям близости, а затем улучшается прототип по критериям качества. В *автомобилестроении* решен ряд многокритериальных задач, таких как, выбор оптимальных параметров рамы автомобиля, бампера и задней панели легкового автомобиля, картера заднего моста автомобиля, механизма газораспределения, подвески колеса легкового автомобиля, многоосных седельных автопоездов, коленчатого вала, углового расположения противовесов коленчатого вала и клапанного механизма. К ним можно отнести также задачи синтеза автомобиля по критериям управляемости и устойчивости, уровня шума и вибрации, динамики автомобиля и т.д.

В *робототехнике и гибких производственных системах* произведена оптимизация параметров несущей системы одностоечного токарно–карусельного станка, несущей системы круглошлифовального станка, внутришлифовальных головок на подшипниках качения, кинематических цепей станков, шпиндельных узлов металлорежущих станков, направляющих металлорежущих станков. Компоновка металлорежущих станков, несущих систем прецизионных станков, несущих систем токарных станков с подвижной бабкой. Конструкции столов многокривошипных листоштамповочных прессов, фрезерных станков, приводов и несущих узлов трубоотрезных, зуборезных и токарных станков, универсальных кривошипных прессов, гидравлических систем тяжело нагруженных станков. Гибкие производственные системы для электроэрозионной обработки деталей. Многокритериальный выбор параметров роботов.

Ряд многокритериальных задач решен и в *аэрокосмическом* кластере. Решены такие задачи, как: оптимизация подсистем тепловой защиты, силовой конструкции планера и его агрегатов, авиационных двигателей, идентификация параметров управляемого парашюта, внешнего облика беспилотных летательных и подводных аппаратов.

Оптимизированы параметры *различных машин*: вибрационные и

волновые транспортирующие машины, мотоциклы, резонансные вибрационные машины технологического обеспечения, суда, лесные погрузочно–разгрузочные машины, горные машины и т. д.

Следует отметить и построение *задач оптимизации больших систем*, которое в основном осуществляется с помощью декомпозиции. Задачи декомпозиции при управлении большими системами обсуждаются во многих работах. В основном, результатом решения таких задач является возможность формулировки требований к подсистемам, что позволяет далее искать решения для согласования интересов системы в целом.

Кроме того, на практике осуществлен поиск компромиссных решений в задачах *оптимизации различных объектов*. Осуществлен выбор оптимальных параметров состава модульных агрегатов для строительства метрополитенов, трансмиссий главных приводов прокатных станов, струговых установок для выемки угля, электрогидравлических рулевых приводов и приводов механизации самолетов. Также шнековых очистных комбайнов, машинных агрегатов автоматизированных транспортно–складских систем, пневматических и гидропневматических виброизоляторов, активной виброзащитной системы с управляемым демпфированием, рабочих органов плодуборочных машин, шестеренных насосов с внутренним зацеплением, цилиндрических зубчатых передач, приводов промышленных роботов, строительно–дорожных и сельскохозяйственных машин, динамических схем свободнопоршневых машин с магнитной связью и др.

Отметим также, решение многокритериальных задач *в строительстве и механике* – оптимизация всяких комбинированных систем повышенной жесткости с учетом деформации и других строительных конструкций, *фармацевтике* – оптимизация процесса экстракции свежесобранных плодов боярышника для предупреждения и лечения сердечно–сосудистых заболеваний. В *петро–физике* – определение коэффициентов открытой пористости Самотлорского нефтяного месторождения, *нелинейной адаптивной и волоконной оптике* – управление световыми пучками в нелинейных средах, определение параметров волоконно–оптических дисков, *автоматизации при управлении технологическими процессами и производствами* – оптимальное управление технологическим процессом производства брома в колонном аппарате. В *атомной энергетике*– расчет атомных реакторов, в *сетевых задачах*– синтез транспортных сетей. Кроме того решены задачи

стратегического маркетинга и методики анализа риска и неопределенности. В последнее время решены две многокритериальные задачи для приложений *Интернета*, т.е. в программной среде.

Также в общем случае к многокритериальным задачам следует отнести *задачи векторной идентификации*, или восстановления параметров математической модели, которые могут быть восстановлены, к примеру, в результате натурального эксперимента. В случае решения практических задач оценивается степень адекватности математической модели к реальному объекту. Подобная оценка как раз и определяет суть векторной идентификации. Расчеты осуществляются по критериям близости или адекватности. В расчетных практических задачах идентификации размерности векторов критериев могут достигать многих десятков и даже сотен. Следует заметить, что при больших размерах векторов значительно усложняются расчеты.

Решена *задача определения оптимального выпуска изделий при многокритериальных экономических показателях.* В задаче находится компромиссное решение экономической задачи, математическая модель которой представлена тремя целевыми функциями. Находится оптимальное решение по производству нескольких видов товаров, чтобы прибыль и количество выпускаемых изделий были максимальны, а себестоимость минимальной.

Приведенный выше обзор позволяет сформулировать главные особенности многокритериальных прикладных задач оптимизации.

Во– первых, разработанные модели описывающие исследуемые объекты различны. В основном это линейные и нелинейные модели, встречаются модели с детерминированными и стохастическими, а также с распределенными и сосредоточенными параметрами. Целевые функции в них бывают и нелинейными, и недифференцируемыми, а область допустимых решений является многосвязной. В своем большинстве множество допустимых и Парето–оптимальных решений задач являются невыпуклыми. Основные прикладные задачи имеют область допустимых значений на порядок меньше объема пространства варьируемых параметров.

Во– вторых, задачи могут иметь достаточно много критериев оптимизации (целевых функций). К примеру, в прикладных задачах векторной идентификации количество критериев достигает нескольких десятков.

В– третьих, необходимо четко анализировать множество допустимых

решений. Такой анализ принципиально осуществлять с целью адекватного выявления, а также пересмотра ограничений и исходных целевых функций. Часто подобный анализ необходим для изменения параметров и коррекции как таковой исходной математической модели.

В– четвертых, в результате анализа допустимого множества и множества Парето– оптимальных решений специалист определяет наиболее предпочтительные или оптимальные, с его точки зрения решения на основании математических моделей и методов. Обычно множество Парето – оптимальных решений содержит сравнительно небольшое количество векторов. Это происходит потому, что предъявляются жесткие требования к исследуемому объекту. Иногда сам специалист или эксперт анализирует найденные решения и обычно хорошо представляет относительную значимость того, либо иного критерия.

На взгляд автора на практике существует много заблуждений и часто считается, что постановка задачи оптимизации (в частности функциональные зависимости и критерии, построение математической модели оптимизируемого объекта, определение оптимизируемых критериев и системы ограничений на параметры) является прерогативой специалиста, которая зависит от его понимания ситуации и умения сформулировать свои мысли. Такая позиция иногда оправдана, но опыт решения реальных задач показывает, что только понимания ситуации недостаточно. В подобных задачах не просто много противоречивых критериев, но и много достаточно “легких” ограничений, которые в различных ситуациях могут изменяться и которые *априори* невозможно изначально корректно сформулировать. По этой причине зачастую на практике решаются плохо поставленные многокритериальные задачи оптимизации. К сожалению, множество существующих методов оптимизации, число которых достаточно велико, далеко не всегда помогают в решении многокритериальных задач.

Оптимальные решения ищутся на допустимом множестве. Говоря о допустимых вариантах ясно, что они должны удовлетворять всем требованиям и ограничениям, но ведь многие ограничения могут быть определены лишь в процессе решения задачи. Сложность заключается в том, что на множестве допустимых вариантов имеется подмножество Парето–оптимальных вариантов, т. е. тех, которые нельзя улучшить одновременно по абсолютно всем оптимизируемым критериям. Ведь решение Парето–оптимально, лишь в

случае, если значение любого из критериев возможно улучшить лишь за счет ухудшения хотя бы одного из остальных. В таком плане Парето– оптимальные решения являются *неулучшаемыми*.

Вследствие того, что в основе оптимизации многокритериальных прикладных задач должно лежать корректное определение допустимого множества, сложно рассчитывать на успешный и адекватный поиск оптимальных решений, в случае если такое множество определено неполно либо вообще неверно. Неверно заданные функциональные ограничения, а в равной степени и ограничения на критерии и параметры, могут в значительной мере уменьшить множество допустимых решений. При этом происходит неоправданное ”сужение” решений и делает недопустимыми многие интересные решения. По указанным причинам в некоторых случаях допустимое множество решений может оказаться пустым.

Подобная ситуация достаточно типична при решении современных многокритериальных задач. Именно поэтому использование однокритериальных методов решения нередко мотивирует специалистов на преднамеренное искажение исходной постановки проблемы. Например, подгонять реальную многокритериальную задачу под один, на их взгляд, *самый важный* критерий, строить необоснованные свертки критериев и прочее. В основном сведение многокритериальных задач в однокритериальные приводит к подмене исходной задачи более простой новой задачей, а как результат порой решается совсем иная задача. Необходимо четко представлять себе, что свести многокритериальные задачи к однокритериальным в общем случае невозможно.

Отметим, что в принципе всегда следует оптимизировать не один, а все самые важные критерии, однако многие из них антагонистичны. С увеличением количества рассматриваемых критериев возрастает информация о возможностях исследуемого объекта, а, следовательно, и о поиске компромиссных решений. Вообще методы решения должны позволять специалисту учитывать такое количество критериев, которое необходимо. Ведь, например, в задачах идентификации число исследуемых критериев может достигать нескольких десятков. По сути, с увеличением количества критериев возрастает представление и о функционировании математической модели и соответственно о том, насколько хорошо она описывает реальную ситуацию, то есть насколько хорошо модель работает.

В итоге отметим, что, по мнению автора, в некоторых случаях при решении объемных задач, для расчета вектора критериев объекта необходимо разрабатывать не одну, а несколько математических моделей, потому что одна модель может хорошо описывать одни критерии, а другие модели все остальные. Кроме того ясно, что в отечественной и мировой литературе уделяется достаточно много внимания методам оптимизации многокритериальных задач. Однако следует отметить, что остается практически не исследованной фундаментальная проблема определения допустимого множества решений.

Также, на взгляд автора, отсутствие учета многокритериальности в теории приводит к ошибочным выводам, а на практике в экономике к потере прибыли. Поэтому для повышения эффективности деятельности необходимо четко и логично осуществлять постановки многокритериальных задач, а также задавать исчерпывающий перечень критериев и ограничений.