

Г. Вангер

**Основы исследования
операций**

Том 1

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 004.42
ББК 32.811
Г11

Г11 **Г. Вангер**
Основы исследования операций: Том 1 / Г. Вангер – М.: Книга по Требованию, 2021. – 334 с.

ISBN 978-5-458-33657-4

В первом томе подробно изложены основные концепции исследования операций и рассмотрены методы оптимизации управляющих решений с помощью аппарата линейного программирования. Значительная часть книги посвящена обсуждению специфических приемов оптимизации на сетях. Особое внимание уделяется искусству построения моделей и анализу оптимальных решений на чувствительность. Приведено много примеров, которые помогают быстро освоить методы решения линейных оптимизационных задач.

ISBN 978-5-458-33657-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Для успешного решения практических задач совершенствования управления в сфере организационно-хозяйственной и государственно-административной деятельности нашей стране требуются соответствующие научные кадры, и в частности квалифицированные специалисты в области исследования операций. Решению проблемы подготовки операционных кадров в настоящее время уделяется у нас большое внимание. В последние годы организовано преподавание этой научной дисциплины в ряде высших учебных заведений. Особое значение приобретает проблема кадров в связи с планами создания в нашей стране большого количества автоматизированных систем управления (АСУ), предусматривающих комплексное использование современных научно-технических достижений.

С расширением масштабов и повышением уровня подготовки специалистов-операционистов, естественно, возрастают потребности в литературе по исследованию операций. В последнее время опубликован ряд серьезных работ советских и зарубежных специалистов в области исследования операций, теории управления и математического программирования. Однако потребности постоянно расширяющегося круга читателей еще полностью не удовлетворены — особенно нужны книги, которые соответствовали бы запросам читателей, стремящихся овладеть методологическими основами исследования операций при минимальных временных затратах на освоение математического аппарата. Оптимальным по такому критерию является предлагаемый вниманию читателей фундаментальный труд Г. Вагнера, одного из ведущих американских специалистов по исследованию операций. Эта книга почти одновременно была издана в США, Англии, Франции, Японии, Канаде, Италии и ФРГ. В ряде стран (в частности, в США, Канаде и Англии) она считается лучшим учебным пособием для студентов высших учебных заведений, готовящихся к операционной деятельности в прикладном плане.

На русском языке книга Г. Вагнера издается в трех томах.

В первом томе изложены методологические основы исследования операций и подробно рассмотрены методы решения оптимизационных задач с помощью аппарата линейного программирования. Приведены задачи оптимизации на сетях.

Во втором томе рассмотрены задачи организационного управления, для решения которых применяются главным образом методы динамического, нелинейного и целочисленного программирования.

Третий том посвящен проблемам оптимизации управляющих решений методами стохастического программирования (при использовании аппарата других видов математического программирования). Излагаются также принципы и методы имитационного моделирования. В заключительной главе тома затронуты общие вопросы организации операционных исследований и практического использования (внедрения) получаемых при этом результатов.

Вряд ли стоит навязывать читателю то или иное мнение относительно достоинств книги — он сам сможет их оценить. Хочется лишь сказать несколько слов о стилистических особенностях книги. Автор явно предпочел сухому академическому стилю изложения живой, образный. Такой колорит книги не наносит, однако, ни малейшего ущерба строгости изложения материала. Скорее, наоборот, он придает математическим построениям наглядность, весьма полезную для развития у читателя операционной интуиции и «конструктивной фантазии». Читатель, несомненно, обратит внимание на то, что названия фирм и организаций в книге явно вымышленные.

В конце каждой из глав приведено большое число упражнений. Эти упражнения, различные по степени трудности, чаще всего имеют непосредственную смысловую связь с рассматриваемыми задачами. Выполнение упражнений, бесспорно, будет способствовать более быстрому усвоению излагаемого материала и развитию операционной интуиции.

Наконец, следует отметить еще одну особенность книги, относящуюся к области терминологии. Автор иногда отступает от сложившихся традиций. Так, например, при изложении симплексного метода он использует термин «допустимое решение» вместо гораздо чаще встречающегося «допустимый план»; несколько иной смысл вкладывается им в понятие «базис» и т. д. Однако всем используемым в книге понятиям даны исчерпывающие определения.

Как уже отмечалось выше, книга может быть использована как учебник по операционным методам анализа и решения задач организационного управления, но она отнюдь не является пособием по математическому программированию. Поэтому, излагая математические методы, автор не всегда стремится к их формулировке в самом общем виде. Многие математические приемы анализа и решения оптимизационных задач объясняются лишь на конкретных примерах. Однако после внимательного ознакомления с такого рода «иллюстрациями», как правило, складывается достаточно полное представление об используемом математическом методе в целом. Это, несомненно, результат педагогического мастерства автора, сумевшего обеспечить простоту изложения материала и высокий научный уровень книги.

Есть все основания надеяться, что книга Вагнера будет с интересом встречена широким кругом советских читателей и окажет существенную помощь при подготовке высококвалифицированных операционистов.

Б. ВАВИЛОВ

Искусство и наука в организационном управлении

1.1. НЕСКОЛЬКО СЛОВ О ТЕРМИНЕ «ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ»

Многим может показаться несколько парадоксальным, что одному только введению в научную дисциплину с весьма неопределенным названием «исследование операций» можно посвятить столь обширный труд, преследующий единственную цель — изложение общих принципов. Термин «исследование операций» возник во время второй мировой войны. Тогда он полностью соответствовал содержанию предмета. К сожалению, несмотря на то что теперь методы исследования операций находят значительно более широкое применение по сравнению с военными годами, данное название по-прежнему используется.

В настоящее время существует международная федерация, объединяющая различного рода научно-исследовательские организации, специализирующиеся в области исследования операций. Термин «исследование операций» можно встретить в названиях специальных подразделений, сформированных на многих промышленных предприятиях. То же самое можно сказать о соответствующих факультетах, организованных во многих ведущих университетах, упорно продолжающих культивировать это название. За положительные результаты в области исследования операций может быть присвоена соответствующая ученая степень. Интересы сохранения преемственности настолько велики, что название «исследование операций» вряд ли будет вытеснено каким-либо другим в ближайшем будущем. Поэтому, несмотря на то что данный термин не достаточно точно отражает суть дела, а порой даже вводит в заблуждение, к нему следует относиться с должным уважением. Он вполне это заслужил.

1.2. О ДРУГИХ НАЗВАНИЯХ

Термин «исследование операций» (operations research) имеет многочисленные синонимы, также получившие широкое распространение. В Англии более употребительным является выражение «операционные исследования» (operational research)¹⁾. Американцы часто используют термин «наука об управлении», популярность которого

¹⁾ Автор сравнивает термин «operational research», используемый главным образом в Англии, с американским термином «operations research». При переводе на русский язык между этими терминами, как правило, не делают различия, отдавая предпочтение выражению «исследование операций». — *Прим. перев.*

обусловлена существованием еще одной международной организации — Института научного управления. Упомянутая выше международная федерация, известная под названием «Общество по исследованию операций», и Институт научного управления регулярно устраивают совместные конференции, и нередко одни и те же лица являются членами обеих организаций. Разумеется, для тех, кто только приступает к изучению данного предмета, все эти разногласия, относящиеся к области семантики, могут иметь второстепенное значение.

Для удобства можно с достаточной степенью точности определить исследование операций как научный подход к решению задач организационного управления. При решении любой конкретной задачи применение методов исследования операций предполагает:

- 1) построение математических, экономических или статистических моделей для задач принятия решений и управления в сложных ситуациях или в условиях неопределенности;

- 2) изучение взаимосвязей, определяющих возможные последствия принимаемых решений, а также установление критериев эффективности, позволяющих оценивать относительное преимущество того или иного варианта действий.

Иногда полагают, что предметом исследования операций являются повседневные возникающие задачи управления деятельностью той или иной организации. Другими словами, считают, что речь идет об управленческих задачах, возникающих в ходе реализации некоторых ежедневно повторяемых «операций». Методы исследования операций действительно находят применение при решении некоторых задач такого типа. К их числу относятся, в частности, задачи, связанные с календарным планированием производства и управлением запасами, с эксплуатацией и ремонтом оборудования, а также задачи комплектования штатов на предприятиях коммунально-бытового обслуживания.

Однако методы исследования операций нередко используются для решения иного рода управленческих задач, имеющих лишь косвенное отношение к повседневным операциям. Задачи такого рода, как правило, связаны с планированием. К их числу относятся, в частности, задачи определения ассортимента выпускаемой продукции, разработки долгосрочных программ расширения производства, проектирования сети складских помещений в системе оптовой торговли, а также задачи освоения новых сфер производственной или коммерческой деятельности путем слияния с другими фирмами или путем приобретения последних.

Имеющее место несоответствие между термином «операция» и тем кругом задач, при решении которых используются методы излагаемой здесь научной дисциплины, вызывает явное сожаление. Но дело обстоит еще хуже. Когда мы говорим «исследование», то это порождает ложное впечатление «созерцательности» самого метода рассмотрения. Фактически же наблюдается совершенно противополож-

ное. За последнее десятилетие применение методов исследования операций неоднократно подтверждало большие возможности этих методов и их высокую эффективность при решении практических задач управления. Соображения, изложенные в настоящей главе, должны явиться предварительным обоснованием практической ценности методов исследования операций. Чтобы окончательно в этом убедиться, необходимо внимательно ознакомиться по крайней мере с основными разделами данной книги.

Разумеется, в области исследования операций продолжают фундаментальные теоретические разработки. Они проводятся главным образом в университетах, а также в различного рода научно-исследовательских лабораториях при государственно-административных и производственно-коммерческих организациях. В отличие от других наук серьезные теоретические достижения в области исследования операций сравнительно быстро находят практическое применение.

Управляющие решения в сложных ситуациях и в условиях неопределенности. Рассматриваемый предмет исследования лучше всего характеризуется термином «анализ управляющих решений». Именно задача принятия решений (или выбора способов действий) является главной для всех операционных исследований.

Анализ управляющих решений предполагает расчленение той или иной сложной проблемы на подпроблемы, легче поддающиеся логическому и интуитивному рассмотрению. Результаты тщательного исследования каждой из подпроблем надлежащим образом синтезируются, что позволяет глубже осмыслить исходную проблему в целом. Чем же объяснить возникновение управленческих задач сложного характера?

Одна из причин заключается в том, что в современной экономике производственно-технические, конъюнктурно-коммерческие и прочие факторы находятся в сложной взаимной зависимости. Так, например, план выпуска продукции того или иного предприятия должен учитывать спрос покупателей ¹⁾, потребности в сырье, необходимые оборотные фонды, мощности оборудования, вероятность возникновения технических неполадок, а также ограничения производственно-технологического характера. Составление плана, который был бы одновременно и реальным, и экономически выгодным, является задачей далеко не легкой.

Другая причина сложности возникающих в практической деятельности управленческих задач состоит в том, что различные подразделения одной и той же организации могут (возможно, не всегда полностью осознанно) преследовать противоречивые цели, ответственность за принимаемые решения и административные полномочия

¹⁾ Который может измениться, если конкурирующие предприятия снизят цены на соответствующие товары.

часто сильно рассредоточены по различным структурным единицам, а внешние экономические факторы, от которых зависит деятельность рассматриваемой организации, могут содержать элементы неопределенности.

Операционный подход направлен на совершенствование самих процедур выработки управляющих решений. Степень успешности данного подхода измеряется чистой прибылью, получаемой за счет практической реализации результатов операционного исследования. Следует видеть различие между совершенствованием процедур принятия управляющих решений и совершенствованием процесса их исполнения, или, другими словами, между «хорошим решением» и «хорошим практическим результатом». Так, например, по некоторым соображениям, решение заключить пари на скачках может считаться (с экономической или моральной точки зрения) далеко не лучшим; однако, если пари тем не менее заключено, результат может оказаться (в случае выигрыша!) положительным. Анализ с целью выработки наиболее обоснованного решения важен потому, что в условиях, когда конечный результат не определен однозначно, на развитие событий можно влиять только принимаемым решением.

Характерные черты операционного подхода. Существует много различных методов решения управленческих задач, причем в большинстве своем эти методы схожи. По-видимому, трудно указать четкое различие между операционным подходом к решению задач организационного управления и теми способами принятия управляющих решений, которыми пользуются такие категории лиц, как инженеры-производственники, экономисты-плановики, бухгалтеры или специалисты по оценке экономической эффективности систем информационного обслуживания управленческого аппарата. Однако методы исследования операций обладают рядом специфических черт. Чтобы тот или иной подход к решению какой-либо конкретной задачи можно было квалифицировать как операционный, он должен содержать, в частности, следующие элементы:

1. *Ориентация на принятие решения.* Основные результаты анализа должны иметь непосредственное и полностью определенное отношение к выбору способа действий (т. е. стратегии или тактики).

2. *Оценка на основе критериев экономической эффективности.* Сравнение различных возможных вариантов действий должно основываться на количественных оценках, позволяющих однозначно определить полезность ожидаемого исхода для рассматриваемой организации. Количественные оценки для коммерческих фирм обычно предполагают использование таких измеримых величин, как расходы, доходы, наличные денежные средства, норма прибыли от дополнительных капиталовложений и пр. Надлежащую количественную оценку должны получить колебания рыночного спроса. В рекомендуемом решении должен быть достигнут оптимальный «баланс» с учетом всех этих нередко противоречивых факторов.

3. *Доверие к математической модели.* Процедуры обращения с упомянутыми выше параметрами должны быть определены настолько точно, чтобы любой специалист в области системного анализа смог их трактовать совершенно однозначно. Другими словами, опираясь на одни и те же данные, различные специалисты-аналитики должны получать одинаковые результаты.

4. *Необходимость использования ЭВМ.* Это условие отнюдь не является лишь желательным. Его, скорее, следует считать необходимым, что обуславливается либо сложностью используемых математических моделей и большими объемами данных, подлежащих обработке, либо громоздкостью вычислительных процедур, обеспечивающих те или иные системы управления и контроля.

В науку нужно верить. Ни одна организация не примет на вооружение методы исследования операций, пока не поверит в то, что к анализу задач организационного управления действительно применим научный подход. Это утверждение не так уж банально, как может показаться на первый взгляд. Чтобы положиться на теорию исследования операций, необходима убежденность в полезности системного подхода к организационному управлению, а такая убежденность присуща далеко не всем руководителям.

В наш век агитация за признание научного подхода (а операционный подход является научным) может показаться странной. Вряд ли у кого-нибудь может вызвать сомнение возможность применения научных методов при исследовании других реальных объектов и явлений (например, при исследовании физических явлений). В результате многовекового опыта физики и химии разработали эффективные методы лабораторного эксперимента. Что же касается научного подхода к решению серьезных организационно-управленческих проблем, то возможности его пока полностью не выявлены. Для признания эффективности операционных методов исследования необходим, как выразился (правда, в совершенно другой связи) поэт Колридж, «добровольный отказ от недоверия». Вот почему призыв поверить в науку здесь вовсе не звучит парадоксально.

Лишь в редких случаях фирма имеет возможность (а не исключено, что она никогда не будет иметь возможности) осуществить то, что, с точки зрения большинства людей, считалось бы настоящим научным экспериментом по проверке качества решения, полученного операционным методом. Рассмотрим, например, фирму, которая при реализации текущего годового плана намерена воспользоваться некоторой математической моделью. Поскольку экономическая «среда» фирмы с каждым годом изменяется, повторяемость ситуаций отсутствует и, следовательно, данная фирма никогда не сможет иметь неоспоримое доказательство того, что решение, полученное с помощью используемой ею модели, приводит к фактическому улучшению процедуры планирования по сравнению с общепринятым методом.

Обратимся к другому примеру. Допустим, что некоторая операционная модель предназначена для управления запасами. В этом случае при определении преимущества новой системы по сравнению с традиционным подходом к решению указанной проблемы также возникают существенные трудности. Можно было бы оценить результаты, получаемые операционным методом, ретроспективно, используя при этом данные, относящиеся к прошлому. Однако такого рода сравнение не явилось бы настоящим научным экспериментом, результаты которого можно было бы выразить через управляемые переменные. Действительно, во-первых, можно лишь *предположить*, что характеристики, относящиеся к прошлому, представляют интерес в связи с оценкой того, что произойдет в будущем. Во-вторых, если предлагаемое решение позволяет усовершенствовать процедуру обслуживания и если это усовершенствование оценено клиентурой, то спрос на обслуживание может возрасти. Другими словами, новая стратегия фирмы может привести к изменению внешних условий ее функционирования.

Таким образом, характеристики, имевшие место в прошлом, могут оказаться нетипичными для будущего, а поскольку система формирования управляющих решений сама влияет на внешнюю среду, то практически оказывается невозможным оперировать существующей и вновь создаваемой системами «параллельно». (Иногда оказывается возможным подчинить часть системы новому методу управления, а другой ее частью управлять по-старому. Нетрудно догадаться, что эксперимент такого рода также не является убедительным.)

Разумеется, прежде чем принять то или иное конкретное операционное решение, руководитель попытается различными способами (включая ретроспективный анализ) апробировать это решение, чтобы убедиться в его приемлемости. После же осуществления такого рода апробаций (даже в идеальных условиях) руководитель на определенном этапе вынужден будет признать очевидным, что научный подход имеет существенные достоинства. В связи с этим утверждением приведем в заключение три дополнительных замечания.

Во-первых, даже в том случае, когда фирма убеждена в ценности научного подхода к решению задач организационного управления, она может не согласиться с некоторыми частными результатами операционного исследования, поскольку не исключается, что тот или иной конкретный операционный проект может быть ошибочным по замыслу или плохим по исполнению.

Во-вторых, вера в науку вовсе не означает, что здравый смысл и интуицию следует игнорировать. Скорее наоборот, история науки изобилует примерами, когда важные открытия были сделаны либо случайно (т. е. ученые находили не то, что искали), либо с помощью интуиции и даже различного рода «фантастических» гипотез. Психологами еще не разработаны надежные методы, которые позволили бы вызывать вспышки творческого озарения. Однако большинство

руководителей, успешно опирающихся в своей деятельности на интуицию, обладают одновременно высоким уровнем знаний и хорошо разбираются во всем, что связано с этой деятельностью. Таким образом, вопрос заключается не в том, чтобы установить, когда необходимо применять научные методы, а когда следует опираться на интуицию. Проблема заключается скорее всего в эффективном сочетании и того и другого.

В-третьих, трудности, связанные с доказательством того, что то или иное предлагаемое решение является наиболее рациональным из всех возможных, присущи не только исследованию операций. Из-за невозможности дублирования истории необходимо проявление доверия и по отношению к любому другому предлагаемому решению, включая вариант с сохранением статуса кво.

Прошлое, настоящее и будущее. Как уже отмечалось выше, термин «исследование операций» возник во время второй мировой войны. Однако зачатки научного мышления, характерного для операционных исследований, появились гораздо раньше. Так, например, некоторые, хотя и весьма примитивные, модели математического программирования были предложены еще в 1759 г. экономистом Куисни и в 1874 г. экономистом Вальрасом. Более сложные экономические модели, аналогичные упомянутым выше, были разработаны в 1937 г. фон Нейманом и в 1939 г. Канторовичем. Математические основы линейного программирования успешно разрабатывались еще на рубеже XIX и XX веков Жорданом (1873 г.), Минковским (1896 г.) и Фаркашем (1903 г.). Следует отметить также весьма серьезные результаты, полученные в области динамического программирования Марковым (1856—1922 гг.). Заслуживают внимания опубликованные в 20-е годы в различных журналах производственно-коммерческого и производственно-технологического профилей работы, имеющие отношение к проблеме управления запасами, а также самые первые исследования по теории массового обслуживания, предпринятые Эрлангом (1878—1929 гг.).

Несмотря на то что результаты этих первых поисковых работ получили признание и высокую оценку, математические модели как инструмент анализа управляющих решений стали использоваться лишь недавно. Чем это объясняется? Причину следует искать по крайней мере в следующих весьма важных обстоятельствах. Во-первых, начиная со второй мировой войны в производственно-коммерческой сфере резко возросла роль конкуренции. Руководители крупных корпораций теперь понимают, что совершенствование традиционно сложившихся способов накопления и обработки информации приводит к существенным экономическим выгодам. Во-вторых, огромные успехи в области электронно-вычислительной техники и широкое распространение быстродействующих электронно-вычислительных машин в значительной степени стимулируют совершенствование

методов сравнения и оценки альтернативных вариантов управляющих решений.

Существует немало доводов, позволяющих утверждать, что число организаций, использующих в своей деятельности методы исследования операций, будет постоянно возрастать. В частности, новейшие достижения, связанные с разработкой электронно-вычислительных комплексов, функционирующих в режиме *разделения времени*, привели к тому, что ЭВМ вторгаются буквально в кабинеты руководителей. Представляется маловероятным, что в ближайшие несколько лет пультами управления, позволяющими осуществлять информационные запросы в любой момент времени, будут оборудованы рабочие места подавляющего большинства руководителей фирм. Однако ответственные за финансовые проблемы вице-президенты целого ряда производственных фирм уже сейчас имеют такие пульта управления, что дает им возможность производить сравнительную оценку основных альтернативных вариантов инвестирования.

1.3. ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Должно быть очевидным, что результаты только количественного анализа никогда не могут явиться полным основанием для принятия того или иного стратегического решения. Трудно, например, представить, что, подбирая кандидата на пост президента корпорации, совет директоров будет опираться на результаты манипулирования только числовыми данными, хотя некоторая информация количественного характера может при этом приниматься в расчет.

Вероятно, выглядит еще более очевидным, что даже в тех случаях, когда в процессе принятия управляющих решений количественный анализ играет основную роль, система, ориентированная на применение методов исследования операций, никогда не сможет выдать информацию в объеме, достаточном для выбора способа действий, независимо от того, насколько детализирована и усовершенствована модель системы. Следует иметь в виду, что такого рода системы могут действительно успешно функционировать лишь при условии, если наряду с количественным анализом они содержат элементы бихевиористического анализа. Это объясняется тем, что реальные системы в качестве неотъемлемого компонента содержат людей, т. е. представляют собой системы типа «человек — машина». И наконец, необходимо заметить, что сам процесс построения систем упомянутого выше типа предполагает ориентацию не только на логические операции с символами и числовыми данными, но и на обычный здравый смысл. Ниже все перечисленные затруднения, связанные с ограниченными возможностями количественного анализа, обсуждаются более подробно.

Решенные и нерешенные проблемы. Чтобы получить достаточно полное представление о том, каким образом различные операцион-