**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЭТАПЫ ОПЕРАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

ИСО базируется на определённых методических принципах, основными из которых являются следующие.

**Целеполагание**. Первичной фазой любого операционного исследование является формирование и выдвижение одной или нескольких целей индивидуальным или совокупным субъектом по отношению к определённому интересующего его объекту, процессу или явлению. Субъект инициирует операционное исследование, генерирует его цели, возможно, указывает допустимые отклонения, и принимает решение по результатам операционного исследования. Операционные исследования проводятся в интересах субъекта.

**Системный подход**. Данный принцип означает, что исследуемый объект (явление, процесс) выделяется из общей среды и рассматривается в виде целостного комплекса взаимосвязанных элементов, взаимодействие которых порождает новое качество, не присущее этим элементам по отдельности. Система имеет выход, характеризующий её состояние, вход, указывающий воздействие внешней (не вошедшей в систему) среды на систему. Каждый из элементов может в свою очередь рассматриваться как система. Тем самым реализуется принцип целостности – система является единым целым и в тоже время подсистемой для вышестоящих уровней. По включению система и её элементы образуют иерархию. Представление системы в виде элементов называется декомпозицией и не обязательно является единственным. Для декомпозиций может быть определён некий критерий, характеризующий её качество. И соответственно из множества декомпозиций выбирается лучшая по критерию декомпозиция. Основной подход к декомпозиции заключается в том, чтобы элементы системы были «проще» самой системы в плане анализа и исследования. Например, количество входов и выходов каждого элемента было меньше, чем у исходной системы.

**Комплексность исследования -** следующий методический принцип.Она означает использование методов и методик, посредством которых исследователи стремятся охватить максимально (или оптимально) возможное число значимых свойств изучаемой реальности. Достигается созданием операционной группы, включающей математиков, системных аналитиков, программистов и специалистов той предметной области, к которой относится исследуемый объект.

**Математическое моделирование.** Для применения количественных методов исследования в любой отрасли всегда требуется математическая модель. Математическая модель это приближённое описание какого-либо класса реальных объектов, выраженное с помощью математической символики. При моделировании объект заменяется математической моделью, которая должна быть удобной для исследования, отражать важнейшие свойства объекта, включать все существенные факторы и вместе с тем быть простой, не засоренной множеством второстепенных факторов. Следует избегать двух крайностей: построить слишком подробную модель, которая потребует очень трудоемкого анализа, или слишком сильно упростить модель, тогда она не будет отражать существенные черты объекта.

Не существует универсальной математической модели. Модель строится исходя из свойств объекта и целей субъекта. Возможно построение нескольких моделей, для отражения различных свойств объекта.

**Оценка на основе критерия эффективности**.Для достижения целей, определённых субъектом, может существовать несколько вариантов действий. Сравнение возможных вариантов должно основываться на количественных оценках, позволяющих однозначно определить полезность ожидаемого исхода. Критерий эффективности является математическим описанием цели операции и должен включаться в математическую модель для оценки достижения цели.

**Решение поставленной задачи.** Предназначение исследования операций - предварительное количественное обоснование оптимальных по отношению к поставленным целям решений. Но оптимальных решений, найденных по математической модели и критерию эффективности, может быть несколько. Принятие окончательного решения выходит за рамки исследования операций и относится к компетенции субъекта Если оптимальное решение невозможно найти, то ограничиваются поиском «достаточно хорошего» или субоптимального решения..

**Необходимость использования современных программных средств и ЭВМ**. Она обуславливается сложностью используемых математических моделей и большими объёмами данных, подлежащих обработке, трудоёмкостью вычислительных процедур, обеспечивающих поиск решений.

Каждое операционное исследование содержит несколько типовых этапов:

1) Постановка задачи и разработка концептуальной модели.

2) Построение математической модели.

3) Выбор метода и алгоритма решения.

4) Проверка адекватности и корректировка модели.

5) Поиск решения на математической модели.

6) Реализация найденного решения на практике.

1. **Постановка задачи и разработка концептуальной модели.** Первоначально задачу операционного исследования формулирует субъект, в чьих интересах проводится операционное исследование. Как правило, постановка задачи имеет общий характер. Для проведения исследований создается операционная группа. Операционная группа выделяет исследуемый объект или явление из среды, детально обследует соответствующую систему, изучает информационные и материальные потоки в самой системе, её связи с внешней средой. Одновременно изучаются организация подсистемы управления данной системой, а также показатели качества или критерии эффективности функционирования системы и внешние факторы, которые влияют на эти характеристики.

После сбора результатов обследования проводится их подробный анализ, в результате которого обнаруживаются существенные факторы и переменные, обосновывается выбор тех или иных показателей качества функционирования системы, а также существенных внешних факторов, структура самой системы, состав его элементов, их взаимосвязи, внутренние параметры. Определяются контролируемые и неконтролируемые факторы. По возможности определяются структурные категории системы (стохастичность, детерминированность, статичность, динамичность, линейность, нелинейность).

Результатом этого этапа является концептуальная модель исследуемой системы (задачи). В ней в содержательной форме описывается состав системы и её границы, компоненты и их взаимосвязи, контролируемые и неконтролируемых внешние факторы, перечень основных показателей функционирования системы, перечень стратегий управления (или решений), которые надо определить в результате решения поставленной задачи.

2) **Построение математической модели.** Построение математической модели зависит от объёма информации в концептуальной модели. Концептуальная модель выделяет систему из среды, указывает её входы и выходы, и даёт сведения о составе системы и взаимодействии её элементов. Тем самым даётся структурная схема системы (рис. 1). Структуру системы, а именно её элементы и их взаимодействие, уже можно моделировать графом

*X={xi}*

*Y={yj}*

*A*={*ak*}

*Ω*={*σπ*}

Рис. 1.

(вершины графа – элементы, ребра или дуги – наличие взаимодействия), и сетью (если вершинам и дугам приписываются параметры, например интенсивность взаимодействия). Таким образом, сетевая модель отражает структуру исследуемой системы. Входы системы имеют свои особенности. Контролируемые входы можно измерить в любой момент времени. Для управляемых входов исследователь может задать их значения и тем самым сформировать нужное воздействие на систему. Контролируемые и управляемые входы *X*={*xi*} позволяют привести систему в требуемое состояние и определяют основные переменные модели. Контролируемые и неуправляемые Ω={σ*p*} входы определяются воздействиями среды на систему и должны включаться в математическую модель в виде случайных переменных, для которых известны вероятностные характеристики (математическое ожидание, дисперсия, закон распределения и т.д.). Между элементами системы могут существовать взаимодействия *A*={*ak*}, интенсивность которых известна, или контролируется, оказывающие воздействие на выходы системы. Их можно интерпретировать как внутренние параметры системы. Состояние системы характеризуется её выходами *Y*={*yj*}. Результаты неконтролируемых воздействий среды и неконтролируемых взаимодействий элементов системы интерпретируются как шумы ξ на выходах системы. В реальности существует зависимость *Y*=*F*(*X*,Ω,*A*)+ξ. Математическая модель даёт приближённую к реальной зависимость *Y*=*FM* (*X*,Ω,*A*). Для правильного определения этой зависимости необходимо учитывать структурные категории системы. Система (соответственно и модель) называется детерминированной, если можно пренебречь случайными воздействиями среды на систему, и значения параметров известны. В противном случае система (модель) является стохастической. Стационарность означает свойство системы не менять свои характеристики со временем. Система, изменяющаяся во времени называется динамической. Дискретность системы означает, что её входы и выходы принимают значения из счетных множеств (дискретность по переменным) или в дискретные моменты времени (дискретность по времени). Непрерывность означает непрерывность функционирования системы по времени и несчётными областями значений входов и выходов. Непрерывно-дискретные системы являются смешанными, с частью свойств дискретного характера, частью – непрерывного. Линейность системы означает, что отклик системы на сумму воздействий равен сумме откликов на каждое воздействие. Системы, не обладающие этим свойством, считаются нелинейными. Важность структурных категорий состоит в том, что они определяют вид зависимости *FM*. Так для динамических систем эта зависимость описывается дифференциальным или интегральным соотношением. В математической модели линейной системы оператор преобразования "вход-выход" линеен.

Составление математической модели начинается с выбора переменных для управляемых входов, совокупность числовых значений которых однозначно определяет одно из состояний объекта. Следует иметь в виду, что от удачного выбора этих переменных зависит простота модели и, следовательно, удобство дальнейшего анализа.

После выбора переменных составляются ограничения, которым они должны удовлетворять. Эти ограничения могут определяться границами системы, физическими и иными законами, объемами ресурсов и т.д. При этом нужно следить, чтобы в модель были включены все ограничительные условия, и в то же время, чтобы не было ни одного лишнего или записанного в более жесткой, чем требуется условиями задачи, форме. Ограничения могут быть записаны в виде системы неравенств

*Gq(X,A,Ω)*≤*bq , q=1,…,m,*

*Xmin≤X≤Xmax,*

*Ymin≤Y≤Ymax,.*

Далее строится зависимость *Y*=*FM* (*X*,Ω,*A*), которая отражает состояние системы от выбранных переменных *X*, при вероятных значениях Ω, и значениях параметров *A*. Построение зависимости осуществляется либо аналитически, либо экспериментально. Аналитическое построение осуществляется исходя из априорной, т.е. заранее известной, например, из концептуальной модели, информации. Прежде всего, о структурной категории модели. Структурная категория модели позволяет определить вид зависимости. Причем параметры, присутствующие в этой зависимости также могут быть априорно известны. Это наиболее простой случай. Экспериментальный метод используется при отсутствии информации о структурной категории модели. Экспериментально-аналитический метод применим, если известна структурная категория модели, но её параметры являются неопределёнными.

Экспериментальный метод реализуется либо в виде идентификации, либо в виде планирования эксперимента. В первом случае модель строится в режиме пассивного наблюдения над системой без оказания на неё каких-либо воздействий. При этом различают структурную и параметрическую идентификацию. Структурная предназначена для определения структуры модели, параметрическая для определения значений параметров модели при известной структурной категории. При планировании эксперимента организуется серия управляющих воздействий на систему, которая называется планом эксперимента, с целью наиболее достоверного выявления структурной категории или, при наличии структурной категории, определения параметров модели.

После того как математическая модель системы построена, необходимо указать цель операции, которая выражается функцией предпочтения *Z*(*Y*) на множестве состояний системы. Так как *Y*=*FM*(*X*,Ω,*A*), то *Z*(*Y*)=*Z*(*FM*(*X*,Ω,*A*))=*Z*(*X*,Ω,*A*) и тем самым критерий эффективности зависит от выбора переменных *X*, удовлетворяющих ограничениям. Достижение цели должно оцениваться максимальным или минимальным значением критерия эффективности. Окончательно получаем математическую модель в виде задачи оптимизации

*Z(Y)→ max(min)*

*X*

*Gq(X,A,Ω)*≤*bq , q=1,…,m,*

*Xmin≤X≤Xmax,*

*Ymin≤Y≤Ymax,.*

В силу разнообразия объектов реального мира, математические модели не ограничиваются только оптимизационными задачами. Встречается довольно много ситуаций, где действует несколько сторон, преследующих различные интересы. И поэтому, невозможно оценить результат принимаемого решения единообразно. Такого рода ситуации называются конфликтными. Теория, описывающая конфликтные ситуации с количественной стороны, называется теорией игр. Фактически в конфликтной ситуации есть несколько субъектов и эффективность проведения операции каждого зависит от выборов действий всех. Для того чтобы выбрать собственное действие, субъект должен «предсказать», какие действия выберут его оппоненты. Одной из основных задач теории игр является получение решения, устойчивого в том или ином смысле от исхода действий субъектов. В теории игр субъекты интерпретируются как игроки, критерии эффективности субъектов как их выигрыши, а сама конфликтная ситуация как игра. Для формализации игры вводятся правила, т.е. система условий, определяющая: варианты действий игроков; объем информации каждого игрока о поведении партнеров; выигрыш, к которому приводит каждая совокупность действий.

3) **Выбор метода и алгоритма решения**. Метод и алгоритм решения задачи по математической модели выбирается по виду модели. Для сетевых моделей, отражающих структурную схему системы, рассматриваются методы и алгоритмы решения сетевых задач. Для оптимизационных задач - в зависимости от вида и структуры целевой функции и ограничений метод выбирается среди методов раздела математического программирования (линейное, квадратичное, нелинейное, дискретное, целочисленное, динамическое, геометрическое, стохастическое, нечеткое, комбинаторное и эвристическое программирование), которому принадлежит полученная математическая модель. Соответственно выбирается и алгоритм решения задачи. Для игровой модели определяется класс игр, которому она принадлежит (матричная, биматричная, бескоалиционная, конечная, бесконечная, позиционная и т.д.), и используется соответствующий классу метод и алгоритм.

4) **Проверка адекватности и корректировка модели**. В теории моделирования под адекватностью модели понимают соответствие результатов, полученных на модели, поведению реального объекта. Поскольку в сложных системах модель лишь частично отражает реальный объект (или процесс), необходимо проводить проверку адекватности.

Если могут быть получены достоверные экспериментальные данные, для проверки можно использовать методы математической статистики. Проверяется предположение о том, что значение отклика модели *YM* отличается от реального отклика *YO* не более чем на заданную величину при изменении значений управляющих *X* и внешних факторов Ω, в возможном диапазоне колебаний. В качестве меры близости *YM* и *YO* выбирают, например, одну из следующих величин:

а) абсолютное отклонение *εa=*| *YM –YO* |≤*εдоп* ;

б) относительное отклонение



;

в) вероятностная оценка



.

Если при каких-либо измерениях отклонение *YO* от *YM* больше заданного предела, то встаёт вопрос об их или случайности, или неадекватности модели. Выдвигается гипотеза о том, что полученная совокупность отклонений не даёт оснований отказаться от рассматриваемой модели. Для оценки гипотезы применяется несколько критериев:

1) критерий Фишера, основанный на анализе дисперсий;

2) критерий Смирнова-Колмогорова, использующий максимальное отклонение;

3) критерий Пирсона, проверке подлежит гипотеза, что модель адекватна с заданной вероятностью *p*.

При отсутствии экспериментальных данных или их недостоверности, проверка адекватности проводится в виде верификации. То есть используется вся доступная информация. Например, мнение экспертов, опровержение критических замечаний оппонентов, сопоставление результатов с данными, полученными из любых достоверных источников, сравнение с результатами ранее созданных и хорошо зарекомендовавшим себя математических моделей.

При неадекватности модели необходимо внесение корректировок в модель. Причинами неадекватности могут быть ошибки в определении структуры системы, её структурных категорий, не включение в модель важных контролируемых входов, ошибки при проведении наблюдений, экспериментов, определении вероятностных характеристик неуправляемых входов. В любом случае необходимо вернуться на предыдущие этапы моделирования и провести повторные или дополнительные исследования.

5) **Поиск решения на модели**. После достижения адекватности модели применяют соответствующий метод или алгоритм для нахождения оптимального (или субоптимального) решения на математической модели. Это решение может принимать разные формы: аналитическую, численную, или алгоритмическую (в виде набора процедур, правил, и т.п.).

**6) Реализация найденного решения на практике**. Внедрение в практику найденного на модели решения можно рассмотреть как самостоятельную задачу. Полученной на модели оптимальной стратегии управления необходимо предоставить соответствующую содержательную форму в виде инструкций и правил, что и как делать, которая была бы понятной для административного персонала данной организации и легкой для выполнения в производственных условиях.