

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ФРАНЦИСКА СКОРИНЫ

В.Ф. БАГИНСКИЙ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Учебное пособие для студентов
лесохозяйственных факультетов ВУЗов,
обучающихся по специальности
1-75.01.01 «лесное хозяйство»

ГОМЕЛЬ, 2008

УДК 681,51.:630 (476)

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Профессор кафедры лесоустройства Белорусского государственного технологического университета д.с.-х.н., проф., Заслуженный лесовод Республики Беларусь О.А.Атрощенко.

Главный научный сотрудник института леса Национальной академии наук Беларуси д.б.н. В.Б. Гедых.

Зав. кафедрой теоретической физики ГГУ им. Ф.Скорины, д.ф-м.н., проф. Н.В.Максименко.

Багинский В.Ф. **Системный анализ.** Учебное пособие для студентов специальности «лесное хозяйство» - Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины». - 2007. - С.

Учебное пособие подготовлено по программе «Системный анализ в лесоводстве», по которому обучаются студенты специальности 1-75.01.01 «лесное хозяйство» биологического факультета УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины». В нем освещены основные положения теории систем, прикладные аспекты теории принятия решений, практика и перспективы использования системного анализа в лесоводственных исследованиях и в лесном хозяйстве.

Книга предназначена для студентов лесохозяйственных факультетов ВУЗов, слушателей институтов и факультетов повышения квалификации специалистов лесного хозяйства, инженерно-технических работников предприятий и управлений лесного хозяйства, а также аспирантов и научных работников лесохозяйственного профиля.

Рисунков, библиография названий.

ВВЕДЕНИЕ

Лесная наука в своем развитии проходила различные стадии. От чисто описательной в начале своего становления она, постепенно впитывая в себя достижения фундаментальных наук: математики, химии, биологии, физики и др., превратилась в достаточно точную. Ее опыты и выводы стали строгими и обоснованными. В истории лесной науки последней четверти 18 и начала 19 века, особенно в лесной таксации и лесоустройстве, яркий след оставлен школой «лесных математиков» - форстматематиков. Возникшая в Германии и получившая сильное развитие в России в лице проф. М.К. Турского и его учеников, эта школа дала много примеров блестящего описания лесных закономерностей математическими методами.

Впоследствии на этом пути были отступления (вспомним как упорно выступал против форстматематиков проф. А.Ф. Рудзский) и новые подъемы, но при всех издержках математика навсегда вошла в арсенал методических приемов, используемых лесоводами. В то же время сложность и трудоемкость вычислений в лесном хозяйстве, где требуется анализировать очень большие массивы первичной информации, долгое время сдерживали использование математических методов.

Очередной виток научно-технической революции, связанный с достижениями кибернетики, информационных технологий и компьютеров, коренным образом изменил отношение лесоводов к использованию методик, отмеченных печатью математизации.

Первым обратил внимание на широкие возможности применения ЭВМ в лесном хозяйстве проф. К.Е. Никитин в начале 60-х годов. Им создана научная школа (так называемая, киевская в лице профессоров А.З. Швиденко, П.И. Лакиды, доцентов Я.А. Юдицкого, С.Н. Кашпора и др.), которая внесла большой вклад в математизацию и компьютеризацию лесоводственных исследований. Почти одновременно с К.Е. Никитиным в этом направлении стал работать проф. В.Г. Нестеров со своими учениками.

Со второй половины 60-х годов подобные работы становятся обычным явлением. Появляются публикации, подготовленные во Всесоюзном НИИ лесоводства и механизации – ВНИИЛМ,

Ленинградском НИИ лесного хозяйства ЛенНИИЛХ - (Г.Н. Коровин, 1972), в институте леса и древесины Сибирского отделения АН СССР (В.В. Кузьмичев, 1977) и в других местах. В этой работе активно участвовали белорусские ученые, работавшие в Белорусском НИИ лесного хозяйства (БелНИИЛХ) и Белорусском технологическом институте (БТИ): Ф.П. Маисеенко, Н.Т. Воинов (1969, 1972), В.Ф. Багинский (1969, 1971), О.А. Атрощенко (1976, 1979) и другие. С целью математизации лесных исследований ряд ведущих ученых-лесоводов получает математическое образование: А.З. Швиденко, Г.Н. Коровин, В.В. Кузьмичев, О.А. Атрощенко, С.Н. Кашпор, И.Я. Лица и др. К исследовательской работе в лесу привлекаются профессиональные математики, которые получают лесохозяйственное образование: Н.Г. Воинов, Я.А. Юдицкий, И. Заунене, Р.Л. Терехова, Г.Б. Кофман и др.

В настоящее время применение математических методов, особенно относящихся к области математической статистики, стало нормой при проведении исследований лесоводственного характера.

Начиная со второй половины 70-х годов, в литературе по лесным вопросам все чаще упоминается системный анализ как новый метод изучения лесных биогеоценозов и сложных хозяйственных построений (Антанайтис, 1977; Никитин, Швиденко, 1978; Буш, Иевинь, 1975 и др.). К концу 80-х, началу 90-х годов использование основных положений системного анализа в лесоводстве значительно расширилось (Атрощенко и др., 1984, 1990). Однако базовое образование инженера лесного хозяйства до недавнего времени не включало изучение этой нужной дисциплины.

В 90-е годы значительно расширена и углублена математическая подготовка инженеров-лесоводов против периода 50-70-х годов. Выпускники лесохозяйственного факультета обучены для работы с компьютером. Таким образом, есть хорошая база для освоения системного анализа. В то же время использование системного анализа в лесном хозяйстве имеет и свои особенности. Во-первых, математическая подготовка лесоводов в силу особенностей их образования и будущей работы, которая имеет в основном биологическую направленность, уступает той, что получают студенты специальных физико-математических факультетов университетов и в технических ВУЗах. Во-вторых, особенности функционирования лесного хозяйства требуют определенной адаптации курса системного

анализа к реальным биологическим и лесоводственным системам. Специализированное пособие, адаптированное к требованиям лесного хозяйства, впервые было издано В.Ф. Багинским в 1997 году в Брянской инженерно-технической академии в 1997 году. Оно было утверждено Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности «лесное хозяйство». К сожалению, тираж этого издания был невелик и не соответствовал потребностям даже лесохозяйственным факультетов ВУЗов России: их многочисленные заявки на приобретение большего количества названных учебных пособий остались не удовлетворенными.

За последнее время произошли определенные изменения в структуре лесного комплекса, появились новые публикации, связанные с применением системного анализа. В Российском издании упомянутого пособия 1997 года примеры использования системного анализа в практике лесного хозяйства и в жизни общества увязаны с условиями своего времени для Российской Федерации. Студенты, обучающиеся в Беларуси, часто слабо знакомы с особенностями лесного хозяйства России, которое за последнее десятилетие пошло по пути реформ «дикого» рынка. Поэтому для обучения студентов в ВУЗах нашего государства необходимо новое учебное пособие, существенно переработанное для лесного хозяйства Республики Беларусь. Настоящая книга является не просто доработанным вариантом Российского издания 1997 года, стала новым учебным пособием, учитывающим особенности лесного хозяйства Республики Беларусь.

Современные учебники и учебные пособия по системному анализу рассчитаны в основном на специалистов и студентов, имеющих университетскую математическую подготовку, или занимающихся техническими науками: физикой, радиотехникой, кибернетикой, информатикой и т. п.. Для большинства лесохозяйственных факультетов и специалистов лесного хозяйства такие курсы системного анализа трудны для усвоения из-за слишком абстрактного и в значительной степени формализованного изложения. К тому же имеющиеся там примеры далеки от теории и практики лесного хозяйства.

В настоящем учебном пособии его автор, не являясь профессиональным математиком и не претендуя на самостоятельное

изложение основ системного анализа, пользовался для передачи главных положений этой дисциплины литературными источниками, приведенными в списке. При этом сделана попытка максимально упростить подачу материала, по возможности сократив математические выкладки, требующие углубленного знания математики. Базовым учебным пособием, на котором основывается изложение специальных вопросов системного анализа в настоящей работе, явилась книга В.А. Губанова, В.В. Захарова, А.Н. Коваленко «Введение в системный анализ» (Л., 1988). Именно в этом учебнике в более простой и доступной форме по сравнению с другими публикациями описаны основные понятия системного анализа. Этот учебник рекомендуется и для дальнейшего, более глубокого изучения дисциплины.

Примеры и различные приложения системного анализа в лесном хозяйстве разработаны автором настоящего пособия или заимствованы из работ В.В. Антанайтиса, К.Е. Никитина и А.З. Швиденко, К.К. Буша и И.К. Иевиня, О.А. Атрощенко и др., о чем в тексте сделаны ссылки. Примеры рассчитаны на объем лесоводственных знаний, которые получают студенты лесохозяйственных факультетов к 4-му году обучения, когда читается курс системного анализа.

Изложенные в настоящем пособии сведения представляют собой лишь самые первые знания из области системного анализа, т.е. его начала. Они касаются основных определений и принципов системного подхода, исследования действий и решений. За пределами настоящего курса остались многие важные вопросы: моделирование, многокритериальные задачи, теория игр в системном анализе, использование компьютеров и т. д. Эти и другие аспекты названной дисциплины опущены, т. к. курс системного анализа для студентов – лесоводов относительно небольшой.

В практической работе в лесничестве, где в основном будут заняты выпускники лесохозяйственных факультетов, углубленные знания по системному анализу в полной мере пока не востребованы. Специалисты, которые продолжают обучение в магистратуре и аспирантуре после усвоения положений настоящего учебного пособия, получают возможность достаточно просто самостоятельно продолжить изучение расширенного курса названной дисциплины.

В работе мастера леса, лесничего, чаще всего, встречаются

задачи, которые допускают простые решения. Но уже на уровне лесхоза, производственных лесохозяйственных объединений (ПЛХО) и на более высоких уровнях управления и в научных исследованиях принятие решений должно базироваться на исследовании и анализе многих критериев. Методологию таких исследований, необходимых для принятия решений при наличии сложных задач обеспечивает изучение настоящей дисциплины. Специалисты лесного хозяйства в этом случае смогут применить полученные знания на практике.

Кроме студентов лесохозяйственных факультетов настоящее пособие может оказаться полезным для аспирантов и специалистов лесного хозяйства, ранее не изучавших системный анализ, а также для экологов и студентов, обучающихся по общебиологическому профилю.

Глава 1 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КАК НАУЧНАЯ ДИСЦИПЛИНА

Понятия «система», «системный анализ» являются основным в научной методологии нашего времени. Эти определения очень часто встречаются в литературе. Что же это такое? Системный анализ - это научная дисциплина, занимающаяся проблемами принятия решения в условиях анализа большого количества информации различной природы.

В системном анализе обращают на себя внимание очень широкие и разнообразные области приложений. Можно назвать экономику, технику, космос, систему управления. Полноценные исследования биологических объектов тоже невозможно проводить без применения методов системного подхода. В перечисленный ряд дисциплин, требующих применения методологии системного анализа, с полным правом можно отнести лесное хозяйство, сам лес как природный объект, а также лесные науки: лесоустройство, лесную таксацию, лесоведение и многое другое, связанное с лесом, о чем мы еще будем говорить ниже.

Системный анализ как научная дисциплина еще молода, многие ее понятия не устоялись. Мы будем оперировать с наиболее распространенными терминами, понятиями и определениями.

Целью применения системного анализа является повышение степени обоснованности принимаемого решения, расширение множества вариантов, среди которых проводится выбор, с одновременным указанием способа отбрасывания тех из них, которые явно уступают другим. Короче говоря, системный анализ - это методика, позволяющая не упустить из рассмотрения важные стороны и связи изучаемого объекта, процесса, явления.

В научных исследованиях, в управлении производством, в технике мы постоянно сталкиваемся с объектами и совокупностями объектов, которые называют сложными системами. Такими сложными системами являются многие технические изделия: ракета, самолет, автомобиль и т.д. Биологические объекты тоже обычно относят к сложным системам: животное, популяция, вид животных или растений и т.д. Сложной системой является и лес. Отличительные особенности сложной системы- это наличие многочисленных более простых элементов системы. Например, в лесу это деревья, кустарники, травяная растительность, почва, почвенная фауна и т.д. Сложной системе свойственно большое количество разнообразных связей между элементами системы, и наличие у системы свойств и функций (или назначения), которых нет у ее элементов.

На первый взгляд представляется, что каждая сложная система имеет свою, только ей присущую организацию. Так, кажется несравнимыми лес и самолет, научно-исследовательский институт и прайд львов и т.д. На первый взгляд, это совершенно разные совокупности. Но более глубокое рассмотрение позволяет найти у них много общего, как и в других сложных системах. Во всех системах мы видим чередование элементов системы и другую упорядоченность. В сложных системах есть согласованность событий и целей, там просматривается определенная подчиненность, передача информации и т.д.

Для чего надо знать законы и закономерности функционирования сложных систем? В первую очередь для того, чтобы уметь создавать нужные нам системы и управлять ими. Ведущей операцией при этом будет принятие решения. Таким образом, цель системного анализа заключается в принятии правильного решения.

Принятие решения осуществляет человек или технические средства (например, компьютер), но оно всегда основано на оценке вариантов, их сравнении. Все это осуществляется с помощью специально разработанных приемов, методик, типовой организации принятия решений. К рассмотрению этих вопросов мы сейчас и приступим.

Глава 2 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

2.1. Определение систем

Прежде, чем решать какие-то задачи системного анализа, надо познакомиться с его основными определениями, понять структуру и иерархию сложных систем, выяснить происходящие в них процессы и т.д. Основными определениями здесь будут элементы, связи, структура и иерархия систем.

2.1.1. Элементы и связи в системе

Элементом системы называется некоторый объект (материальный, энергетический, информационный), обладающий рядом важных для нас свойств, но внутреннее строение (содержание) которого безотносительно к цели рассмотрения.

Например, мы изучаем таксационное строение древостоя. В данном случае элементами системы будут деревья т.е. материальный объект. Не суть важно для цели нашего рассмотрения их анатомическое строение, физиология. Нас интересует в данном случае соотношение деревьев: размерность, размещение и т.д.

Если рассматриваем систему фотосинтеза, дыхание и питание дерева, то элементами ее будут вода, CO_2 , солнечный свет, хлорофилл и т.д., т.е. материальные и энергетические объекты, где нам не столь важны их внутренняя неоднородность и организация. Здесь они выступают как целостные элементы системы. В сложной

компьютерной программе элементами являются информационные блоки (файлы) и команды.

Обозначим элементы системы через M , а всю их возможную совокупность через $\{M\}$. Принадлежность элемента совокупности запишется как $M \in \{M\}$.

Между элементами системы существуют различные связи. Связью называется важный для нас обмен между элементами системы веществом, энергией, информацией. Например, в лесу в системе почва - растения постоянно идет обмен путем поглощения деревьями, кустарниками и травой воды, минеральных солей. С другой стороны опад и отпад в лесу минерализуется, и продукты разложения поступают в почву. При этом постоянно осуществляется информационный обмен на химическом уровне.

Единичным фактором связи выступает воздействие. Обозначим все воздействия элемента M_1 на элемент M_2 через X_{12} , а элемента M_2 на M_1 - через X_{21} . Изобразим это графически (рис. 2.1).

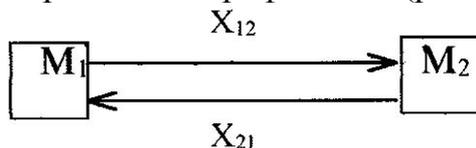


Рис. 2.1. Схема простейшей связи между элементами в системе.

Зная об элементах и связях системы, можем дать определение самой системе.

Системой называется совокупность элементов, обладающих следующими признаками: связями и функциями.

Связи, позволяют посредством переходов по ним от элемента к элементу соединить два любых элемента совокупности. Этот признак называется связностью системы. Допустим, что элементами системы «лес» будут усвояемый почвенный азот и животное, скажем, белка. Есть ли между ними связь? Непосредственно наблюдаемой связи нет, но опосредованная есть. Проследим ее. Путем последовательных связей - поглощение азота корневой системой дерева – передача его в ассимиляционный аппарат - образование на дереве семян (плодов) - поедание их белкой - мы можем соединить два названных элемента. В начале цепи связи носят чисто химический характер, а в конце представляют собой часть пищевой цепи.

Следующий признак системы - ее свойства (назначение,

функции), отличные от свойств отдельных элементов системы. Этот признак называется функцией системы.

Из курса лесоводства нам известно, что отдельные деревья - это еще не лес. Ясны и отличия, которые заключаются в разных свойствах и функциях леса и группы деревьев. Лес характеризуется особой лесной средой, которая аккумулирует в себя функционирование деревьев, кустарников, живого надпочвенного покрова (трава, мох), почвы, животных и т.д. Хотя деревья являются главным компонентом леса, но наличие только ограниченного числа деревьев недостаточно, чтобы назвать их лесом. Обращаясь к философии, заметим, что здесь явно наблюдается переход количественных изменений в новое качество. Добавление элементов и наличие связей между перечисленными элементами ведет к качественно новому – появлению системы. В нашем примере это лес.

Аналогично можно оценить систему животного (или растительного) организма, популяции, вида и т.д. Животное и человек - это сумма его органов, но печень или нога сами по себе не обладают свойствами и функциями, присущими всему организму, т.е. последний является сложной системой, состоящих из отдельных органов, но представляющий качественно новое образование.

Теперь можем записать определение системы в виде кортежной, т.е. последовательной записи в виде перечисления:

$$\Sigma: \{\{M\} \{X\}, F\}, \text{ где} \quad (2.1)$$

Σ - система;

$\{M\}$ - совокупность элементов системы;

$\{X\}$ - совокупность связей между элементами системы;

F - функция (новое свойство) системы.

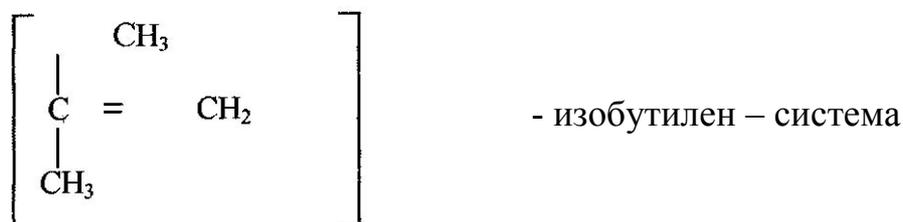
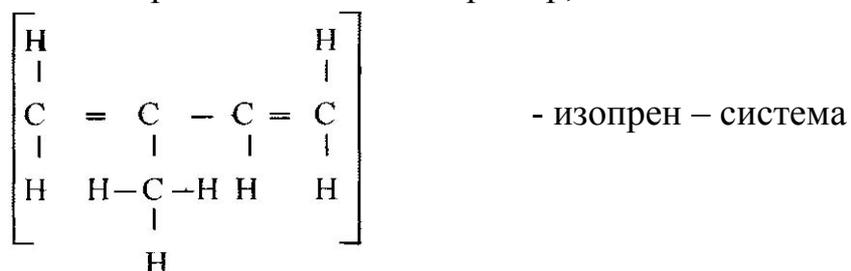
Запись (2.1) - это наиболее простое описание содержания системы.

Есть формы записи, включающие более 10-12 членов кортежной последовательности, соответствующие различным свойствам системы. Подобные примеры видим в капитальных трудах по системному анализу.

При современных знаниях в области физики, химии, биологии, астрономии, экономики, экологии и других наук практически любой объект с определенной точки зрения может рассматриваться как система. Важно определиться - полезен ли такой взгляд в конкретной ситуации или разумнее считать данный объект элементом системы.

Например, системой мы можем считать лес, а элементом - дерево. Но, если нам надо изучить накопление вещества (древесины) деревом, то дерево выступает уже как система, а его клетки (скажем, трахеиды у хвойных) - как элементы. Если надо определиться с получением целлюлозы из древесины, то уже клетка становится системой, а целлюлоза, лигнин и т.д. - элементами. И так без конца. На сегодняшний день мы не можем с достоверностью сказать, являются ли системной только кварки. Все остальное с определенных позиций можно рассматривать как систему. Останутся ли кварки только элементом системы мироздания или тоже станут системой покажет будущее.

Теперь сделаем разделение систем. Большой системой назовем такую систему, которая включает значительное число однотипных элементов и однородных связей. Например,



Большой системой можно считать дерево, которое состоит из множества клеток. Большой, но не сложной системой (с точки зрения только механики) будет труба газопровода, собранная из отдельных труб - плетей. Большой системой, но тоже достаточно простой

является цепь ленточного транспорта, например, в бревнотаске. Да и сами бревна, «плывущие» по транспортеру – это большая система, хотя и относительно простая.

Сложной системой называется такая система, которая состоит из элементов разных типов и обладает разнородными связями между ними.

То же дерево будет и сложной системой, т.к. его элементы (клетки) неоднородны: есть кора, камбий, заболонная и ядровая древесина и т.д.

Как правило, сложной системой будет та, которая одновременно является и большой, хотя, как показано выше, не всякая большая система будет сложной.

Разнородность элементов сложной системы записывается так (2.2):

$$\{M\} : \{\{M^I\}, \{M^{II}\}, \dots, \{M^R\}\} \quad (2.2)$$

Допустима также некортежная запись

$$\bigcup_{r=1}^K \{M^r\} \quad (2.3)$$

Аналогично может быть записана и разнородность связей

$$\bigcup_{r=1}^K \{X^r\}$$

Типичным примером сложных систем является уже упомянутый лес, дерево. Сюда можно отнести судно, самолет, ракету, системы управления ими, компьютер, транспортную сеть города, систему его водо-, газо-, теплоснабжения и многое другое. Биологические объекты, даже самые простые - бактерии, вирусы, как правило, относятся к сложным системам.

В настоящее время важным классом сложных систем выступают автоматизированные системы (АС). Слово «автоматизированный» указывает на участие человека, использование его деятельности внутри системы при сохранении значительной роли технических средств. Так, цех, участок, сборка могут быть как автоматизированными, так и автоматическими, т.е. без участия человека в процессе производства внутри системы.

Например, современная лесопосадочная машина (ЛПМ) «ИЛАНА», созданная Институтом леса АН Беларуси, является автоматической - человек не участвует в процессе непосредственной

высадки сеянцев. Чисто автоматическая система сегодня считается предпочтительной при относительно простых работах или отдельных операциях. Тот же процесс непосредственной высадки сеянца удобнее и надежнее выполнять в автоматическом режиме, что и достигнуто в современных лесопосадочных машинах.

Для более сложных систем целесообразно создавать автоматизированную систему, т.е. с участием в ней автоматических устройств и человека. Так, весь процесс посадки лесных культур с помощью ЛПМ является автоматизированным. Здесь важную роль играет тракторист, управляющий трактором. Он, хотя и не прикасается к сеянцам, которые высаживает автомат, но следит за этим и регулирует весь процесс посадки. Таким образом, в нашем примере некоторая часть большой и сложной системы работает в автоматическом режиме, а вся система в автоматизированном.

Другой пример из более сложной области техники - самолет. На автопилоте он летит обычно при относительно простом режиме полета, т.е. когда уже набрал высоту, лег на стабильный курс, и этот курс надо только поддерживать. Но взлет и посадку осуществляют летчики - это более надежно. Правда, в последнее время и эти операции в ряде мест автоматизированы, что потребовало дополнительного довольно сложного оборудования аэродромов. В то же время в критических ситуациях не только в авиации, но и в космических полетах к управлению подключается человек.

Конечно, все условно. С развитием техники некоторые автоматизированные системы переходят или перейдут в автоматические, но на сегодняшний день ситуация до этого еще не дошла.

Итак, автоматизированной системой называется сложная система с определяющей ролью элементов двух типов: а) в виде технических средств; б) в виде действий человека.

Записывается это так:

$$\Sigma^{\wedge} : \{ \{M^T\}, \{M^C\}, \{M'\}, \{X\}, F \} \quad (2.4)$$

где M^T - технические средства (очень часто компьютер); M^C - решения и другая активность человека; M' - остальные элементы в системе.

В совокупности связей $\{X\}$ могут быть выделены связи между человеком и техникой $\{X^{T-C}\}$.

2.1.2. Структура и иерархия системы

Структурой системы называется ее расчленение на группы элементов с указанием связей между ними. Расчленение на группы неизменно на все время рассмотрения и дает представление о системе в целом.

Для примера возьмем создание лесных культур. Здесь элементами системы и группами элементов системы будут проектирование, подготовка почвы, выращивание посадочного материала, посадка, уход за лесными культурами. Каждый из перечисленных элементов сам по себе может служить системой при отдельном рассмотрении. Скажем, выращивание посадочного материала можно расчленить на подготовку почвы, посев, уход за посевами и т.д. Для конкретного задания каждый элемент системы неизменен, а в своей связи и совокупности элементы системы дают представление о процессе создания лесных культур. Связи в этой сложной системе представляют собой технологическую цепь, с помощью которой достигается нужный результат.

Можно привести примеры из других областей. Так, структура сборки моста состоит из отдельных, собираемых на месте секций. Грубая структурная схема такой системы учтет только секции (их строение уже неважно) и порядок их сочленения. Последнее и есть связи, которые носят здесь силовой характер. Это материальное (вещественное) расчленение системы. Аналогично в ряде случаев собираются здания. Так, для многих новых церквей купол собирают на земле, а потом поднимают (краном, вертолетом) и монтируют в общей системе.

Пример функциональной структуры - это вышеприведенный пример создания лесных культур, хотя там просматривается и вещественный характер связей. В качестве функциональной структуры можно назвать двигатель автомобиля, где есть система питания, смазки, охлаждения, силовая передача и т.д. Вещественной и функциональной структурой будет проектный институт, где каждый отдел занимается своим делом, но в целом выдают проект. Пример - лесоустроительное предприятие. Там работают и те, что выполняют полевые работы в лесу (инженеры – таксаторы, техники, рабочие), и специалисты, которые обрабатывают данные на компьютере, и оформители (переплет и др.), и управленцы, и работники

материально-технического обеспечения и т.д. Результатом их работы является проект организации и развития конкретного лесхоза на ближайшие 10 лет.

Алгоритмической структурой будет алгоритм составления программ для компьютера. Эти же функции несет инструкция для проведения лесоустройства или отыскания технической неисправности в компьютере. Примерами структур других типов являются календарь (временная структура), книга главы.

Рассмотрим подробнее систему «книга». Ее деление на главы может иметь информационную структуру (научная книга), вещественную: для типографии содержание не имеет существенного значения, а важно количество бумаги и труда, уходящее на главу. В художественной литературе глава выделяется по набору эстетических и иных воздействий на читателя. Так, часто глава в романе прерывается на самом захватывающем месте, внимание переключается на другие события, а спустя несколько глав снова возвращаемся к первому герою. Вспомним, что именно этот прием использовала вечером сказочная Шахерезада, чтобы не быть казненной утром.

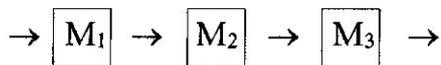
Символическая запись структуры осуществляется путем введения вместо совокупности элементов M совокупности групп элементов $\{M\}$ и совокупности связей между этими группами $\{X\}$, т.е.

$$\Sigma\Sigma : \{ \{\hat{M}\}. \{\hat{X}\} \} \quad (2.5)$$

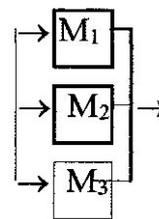
Формулу (2.5) можно получить из (2.1), объединяя элементы в группы.

Обратим внимание, что функция (назначение) системы - F - в (2.5) опущена, поскольку структура может в определенной мере существовать безотносительно к ней. Здесь вспомним пример с книгой, где есть разные назначения структуры, и элементы M из какой-либо группы обычно бывают неоднородными.

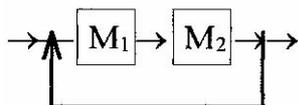
Структуру системы характеризуют имеющиеся в ней (или преобладающие) типы связей. Простейшими из них являются последовательное, параллельное соединение элементов системы и обратная связь (рис. 2.2).



а) Последовательное соединение
(бревна на ленточном конвейере)



б) Параллельное соединение
(выполнение внутренних работ
при строительстве дома)



в) Обратная связь (организация
цикла в компьютерной
программе)

Рис. 2.2. Типы связей в системе

Последовательные и параллельные связи достаточно очевидны и в дополнительных пояснениях не нуждаются. Более подробно остановимся на понятии обратной связи. Оно означает, что результат функционирования некоторого элемента влияет на поступающие на него воздействия. Например, рассмотрим уже приводившуюся систему создания лесных культур. Допустим, что мы ведем подготовку почвы глубокими бороздами. Спустя короткое время они наполовину заполняются водой. Это значит, что посадка лесных культур в наши борозды невозможна. Здесь вступает в действие обратная связь, т.е. воздействие на искомый элемент (или группу элементов) изменяется. Мы или станем делать борозды мельче, или начнем создавать валы, или откажемся в заданных условиях садить лесные культуры.

Приведем другой пример. Скажем, провели уход (прополку) за однолетними посадками сосны, но с недостаточной интенсивностью. В силу обратной связи, т.е. из-за затенения нежелательной растительностью просматривается угнетенное состояние саженцев или усыхание. Здесь требуется изменить силу и характер воздействия, т.е. придется повторить уход с большей интенсивностью.

Обратная связь незаменима при разработке компьютерных программ. При организации цикла, используют условные переходы,

т.е. мы здесь включаем обратные связи, регулирующие ход выполнения программы.

Таким образом, можно сделать вывод, что обратная связь выступает важным регулятором в системе. Крайне редко встречается система без того или иного вида обратной связи.

Рассмотрим теперь термин, который близок к понятию «структура». Это декомпозиция.

Декомпозицией называется деление системы на части, удобные для каких-либо операций с этой системой. Примером декомпозиции будет разделение создания лесоустроительного проекта на полевые и камеральные работы, т.е. на частично или полностью независимые манипуляции с частями системы. Аналогично декомпозицией является разделение рубок главного пользования на сплошные и выборочные. Последние в свою очередь имеют сложные детали, что известно из курса лесоводства.

Важнейшим стимулом и сутью декомпозиции является упрощение системы, слишком сложной для рассмотрения целиком. Такое упрощение приводит к следующим последствиям.

1. Фактически происходит замена системы на некоторую другую, в каком-то смысле соответствующую исходной. Как правило, это делается вводом гипотез об отбрасывании или ослаблении отдельных связей в системе.

В качестве примера можно привести распространенный прием в исследовании леса, когда понятие «лес» заменяется на термин «насаждение», или еще грубее - «древостой». Здесь мы, особенно если занимаемся оптимизацией выращивания древесины, отбрасываем некоторые связи: древостой - живой напочвенный покров; древостой - хищные звери и т.д., считая эти связи не столь существенными для целей работы или для функции системы. Определенным упрощением является моделирование, о чем пойдет речь ниже.

2. Упрощенная система может полностью соответствовать исходной и при этом облегчать работу с ней. Такая декомпозиция называется строгой и требует специальных процедур согласования и координации ее частей.

Строгими декомпозициями, как правило, обладают управленческие структуры. Например, Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь объединило в своей структуре производственные лесохозяйственные объединения (ПЛХО) каждой

из 6 областей Беларуси: Брестское, Витебское, Гомельское, Гродненское, Минское и Могилевское ПЛХО. Каждому ПЛХО подчинена группа лесхозов - от 10 до 21. Лесхозы делятся на лесничества, а последние на мастерские участки и обходы.

Другой пример - это составление лесоустроительного проекта. Здесь выделяем полевые и камеральные работы. В пределах последних - обработка информации, ее обобщение, оформление, сдача заказчику.

Строгая декомпозиция часто присутствует при составлении компьютерных программ, где выделяются подпрограммы.

Иерархия. Это такая структура системы, где есть подчиненность, т.е. существуют неравноправные связи между элементами, когда воздействия в одном из направлений оказывают гораздо большее влияние на элементы, чем в другом.

Примеров иерархии очень много. Так, организация общественных животных являет собой естественную первобытную иерархию. Возьмем стадо павианов. Здесь просматривается такая иерархия: вожак - ведущие старые самцы - самки - молодые самцы - детеныши - подчиненные самки и самцы. Любое человеческое общество (даже первобытнообщинное) представляет собой иерархическую систему. Система управления - это четкая иерархическая система. Не исключение и управление в лесном хозяйстве. Приказы директора важнее для системы «лесхоз», чем возражения лесничего. Система обучения практически везде построена по иерархическому принципу: учитель - ученик.

Схему иерархической связи изобразим рисунком (рис. 2.3).

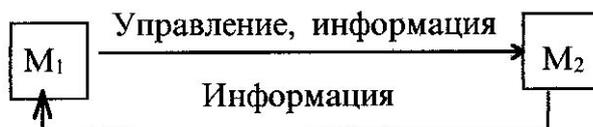


Рис. 2.3 Иерархическая связь в системе

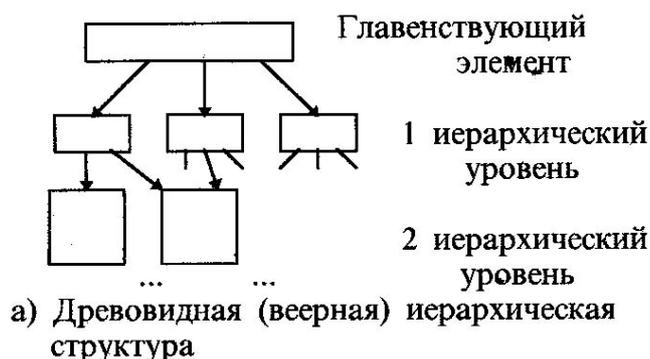
В примере на рис. 2.3 доминирует элемент M_1 . Например, лесничий дает мастеру задание - вырубить 50 м^3 жердей на прореживании в кв. 25 к пятнице такого-то числа, т.к. их в этот же день должен забрать конкретный потребитель. Здесь присутствует и

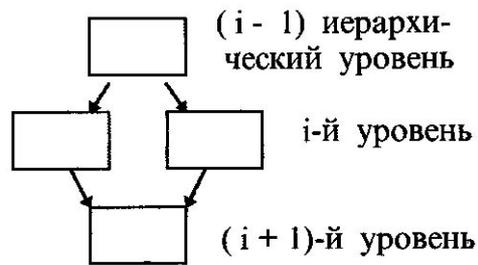
информация (что, где, когда), и управление – приказ сделать конкретную работу. От мастера идет обратная связь – выполнено или не выполнено распоряжение. По обратной связи лесничим принимается то или иное решение: информирует потребителя, наказывает мастера при невыполнении или посылает дополнительных рабочих и т.д.

Виды иерархических структур разнообразны. Среди них встречаются кольцевые: первый элемент доминирует над вторым, второй над третьим и т.д., но последний над первым. Например, директор – заместитель – начальник отдела – инженер – машинистка. Но последняя красавица – над директором! Это, конечно, шутка, но «сказка ложь, да в ней намек, добрым молодцам урок». В прайдах львов иногда детеныш доминирует над вожаком прайда, хотя до определенной степени.

Структуры доминирования бывают разные. Но основных, важных для практики иерархических структур всего две – древовидная (веерная) и ромбовидная (рис. 2.4). Примером древовидной иерархической структуры служит ПЛХО: 1 уровень – генеральный директор, 2 уровень – его заместители, 3 уровень – отделы, 4 уровень – лесхозы. Ромбовидная: директор лесхоза – его заместители – отдел (цех), лесничество.

Ромбовидная структура ведет к двойной (иногда и более) подчиненности, отчетности, принадлежности нижнего элемента. Например, лесхоз подчиняется и ПЛХО, и местной администрации – отчет надо давать и туда, и сюда.





б) Ромбовидная иерархическая структура

Рис. 2.4. Иерархические структуры сложной системы.

Второй пример. Лесоустройство во время полевых работ в ряде лесхозов проводит материально-денежную оценку лесосечного и эксплуатационного фонда. Материалы идут и для выписки лесорубочного билета, и для характеристики товарной структуры эксплуатационного фонда при написании лесоустроительного проекта.

Приведем пример из области техники. При проектировании системы пожаротушения $(i - 1)$ уровень - это проект в целом, i уровень - это проект на основную и дублирующую часть пожаротушения, $(i + 1)$ уровень - это проектирование пожарных рукавов (насоса), что будут использованы в основной и дублирующей частях системы. Подобных примеров очень много.

Любая иерархия, в принципе, сужает возможности и гибкость системы. Элементы нижнего уровня сковываются доминированием сверху, они способны влиять на это доминирование (управление) лишь частично и, как правило, с задержкой. Примером доведения до абсурда являлась строгая партийная иерархия в КПСС. Даже когда почти всем рядовым членом партии была явна ошибочность политики руководства, ничего не делалось для улучшения дела, что привело к системному кризису и развалу КПСС и СССР.

Примеров иерархии в жизни сколько угодно. Читатели могут найти их сами в системе преподаватель - студент, начальник - подчиненный и т.д.

Но введение иерархии резко упрощает создание и функционирование системы. Поэтому иерархию следует считать вынужденной, но необходимой в сложных системах. Не зря в подавляющем большинстве естественных систем есть иерархия.

Строгая иерархия в стае гиен сдерживает безудержное увеличение особей и обеспечивает передачу потомству самого ценного генома. Если изъять иерархию в системе вузовского обучения, то я сильно сомневаюсь, что многие из студентов-лесоводов освоят курс системного анализа. А с иерархией никуда не деться - осваивают.

Отрицательные последствия введения иерархии во многом могут быть преодолены предоставлением отдельным элементам возможности реагировать на часть воздействий без жесткой регламентации сверху. Например, не обязательно доводить план заводу по полному ассортименту продукции, достаточно, чтобы он обеспечил определенную прибыль и платил налоги.

Преподавателю не важно, будет ли у студента конспект. Главное, чтобы студент знал предмет и ответил на вопросы при зачете. Правда, при наличии полного конспекта зачет получить легче.

2.2 Модульное строение системы

Перейдем к введению следующей важной группы понятий. Мы назвали связью воздействие одного элемента системы (или группы элементов) на другой элемент или их группу.

Распространим понятие связи и на взаимодействие системы с «не системой», которую назовем внешней средой.

Выделим следующие связи элементов системы.

А. Связи, которые рассматриваемый элемент испытывает от других элементов системы и «не системы».

Б. Воздействия, которые он оказывает на другие элементы системы и «не систему».

Первую группу воздействий принято называть входами (воздействие на элемент), вторую - выходами - воздействием от элемента.

Выходы элемента зависят от входа и внутреннего строения элемента, т.е. выход есть функция от входа и самого элемента.

Язык входов и выходов переносится на совокупность элементов, включая и всю систему в целом. Здесь можно говорить обо всех входящих и выходящих воздействиях. Это удобный подход к рассмотрению системы. Характеризуя группу элементов только входами и выходами, мы получаем возможность оперировать этой

частью системы, не вникая в то, как связаны и взаимодействуют ее элементы. Этим достигается уход от детализации в описании системы при сохранении ее основных особенностей.

В качестве примера рассмотрим проведение рубок ухода в насаждении, допустим прореживания. Нам надо знать эффективность этого мероприятия. В рассматриваемой системе задействовано много элементов: древостой, техника, живой надпочвенный покров, животный мир и т.д. Их взаимодействия сложны.

Для упрощения возьмем лишь часть системы – древостой, абстрагируясь от того, какими средствами его изменили. Спустя 3 - 5 лет после рубки сделаем анализ влияния рубки ухода на величину запаса древесины, который определяем таксационными методами. Здесь мы оперируем лишь с частью большой сложной системы (лес), ушли от детализации при описании взаимодействия элементов системы (взаимовлияние отдельных деревьев, перераспределение почвенного питания, света, миграции животных, повреждение почвы и т.д.) и получили искомый результат - узнали, как изменился запас древостоя или его прирост, т.е. сохранили наиболее важную особенность системы.

Теперь введем понятие модуля и дадим его определение. **Модулем** называется группа элементов системы, описываемая только своими входами и выходами и обладающая определенной цельностью.

Система может представляться набором модулей и сама рассматриваться как модуль. В качестве примера снова возьмем лес. Допустим он имеет такую таксационную характеристику: состав 8С2Б, возраст 50 лет, тип леса сосняк кисличный. Эти таксационные показатели можно понимать как набор модулей: деревья сосны, березы, напочвенный покров (кислица), и т.д. Но в свою очередь сам лес в системе природопользования: лес, поле, луг, водоем, карьер и т.д. может рассматриваться как модуль.

Модульное построение системы, как правило, определяет ее декомпозицию. Нередко оно определяет и структуру. Но понятие «модуль» в системном анализе и смежных с ним дисциплинах еще шире. Деление системы на модули - это удобный и наиболее распространенный прием работы с искусственными системами, включая их проектирование (создание), проверку, настройку, усовершенствование. Примеры: устройство компьютера, телевизора,

построение компьютерной программы, постройка здания. Много примеров модульного построения систем видим в лесном хозяйстве: процесс лесовыращивания можно разделить на следующие модули: семена - питомники - лесные культуры - рубки ухода - санрубки - главное пользование.

Именно модульное строение системы в сочетании с принципом введения все более крупных модулей при сохранении обозримого объема входов и выходов позволяет рассматривать в принципе сколь угодно сложные системы.

Примерами реализации этого положения на практике является создание из сотен тысяч и миллионов элементов современных компьютеров и суперкомпьютеров, развитие информационных систем и вычислительных сетей. Например, такая огромная система как Интернет, охватывающая практически весь мир, состоит из отдельных блоков: серверы, сети и т.д. Модульное построение имеют системы управления как отраслью, так и на межотраслевом уровне. Тот же подход используется при исследовании экосистем, биогеоценозов.

Разработка искусственных систем идет обычно «сверху» - с продумывания назначения, входов и выходов модулей верхнего уровня. Далее построение опускается вниз, все больше и больше детализируя систему.

Дадим схематическое изображение модуля (рис. 2.5).

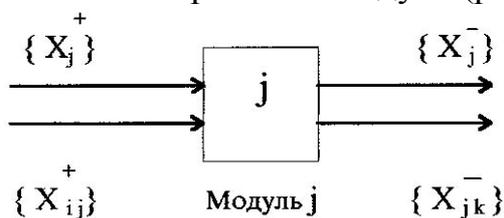


Рис. 2.5. Схема модуля j.

Здесь X_i^+ - внешние (от «не системы») воздействия на элементы модуля j

X_{ij}^+ - связи от других элементов системы на элементы модуля j

X_{jk}^- - связи (воздействия) от элементов модуля j на «не систему»

Воздействия (X_j^- , X_{jk}^-) можно рассматривать как часть функции F_j системы F, которая реализуется модулем j. В этом случае имеем

$$\{ \bar{X}_{ij} \} = F_j \quad (2.6)$$

Теперь запишем преобразование:

$$(\{X_i^+\}, \{X_{ij}^+\}, j) \rightarrow (\{X_i^-\}, \{X_{jk}^-\}) \quad (2.7)$$

Заметим, что понятие модуля близко к концепции «черного ящика» в кибернетике. Последним термином, называют объект, в котором известна только зависимость входов от выходов. Например, известна шуточная формула русской автоматизации: «нажал кнопку - лом в руке». А, если серьезно, то - «посыпали удобрения - получили прибавку урожая», не раскрывая сам механизм действия удобрения. В быту мы часто пользуемся этим принципом: телевизор, компьютер, принтер. Далеко не все знают, весь глубинный процесс появления изображения в телевизоре или печати требуемого текста на принтере. Ясен только вход (нажал нужную кнопку) и результат.

В системном анализе в отличие от системы «черного ящика» при исследовании сложных систем мы в состоянии проанализировать, что же происходит внутри модуля, но нам удобно не делать этого на определенной стадии рассмотрения.

Понятие «модуль», «вход», «выход» имеет много синонимов в разных областях науки и техники. Синонимом модуля в технике являются: агрегат, блок, узел, механизм. В информатике: программный модуль, логический блок, подпрограмма. В биологии: организм, орган, ткань. В управлении: министерство, служба, управление, отдел, комиссия и т.д.

Типичными входами и выходами являются пары «сигнал - отклик», «воздействие (раздражение) - реакция» (вспомним опыты Ивана Петровича Павлова с собаками), «запрос - ответ», «аргумент - решение», или более широко: «информация - принятие решения», «управление - движение» и т.д.

Теперь перейдем к анализу понятия информации.

Ранее мы определили, что связи (воздействия) бывают 3 видов: материальные, энергетические, информационные. Для сложных искусственных систем следует особо выделить информационные связи. Последние часто являются преобладающими в системе, определяют ее работу и функцию.

В том случае, когда в сложной системе присутствуют вещественные и энергетические связи, то информационные связи их, как правило, сопровождают. Есть мнение, что вся жизнь – это получение, обработка и передача информации. Даже в косной природе происходит прием и передача информации, хотя это и предмет

дискуссий. Информация (передача сигналов химическим, электрическим или иным путем) присутствует в жизнедеятельности всех биологических объектах.

Таким образом видим что, без информационных связей не обходится почти ни одна система. Другое дело, какую форму принимают эти связи. Это может быть сигнал, команда в компьютере. У биологических объектов это звук, мимика, движение, поза, электрический сигнал, химическое воздействие - вспомните аттрактанты насекомых, улавливаемые ими за несколько километров. В управлении: команда, письменный источник (предписание, приказ), жест и т.д.

В целом информация в системе выступает как собирательный термин для обозначения всех нужных сведений. Информация может изучаться с разных точек зрения. Так, правомерно ее исследовать с позиций получения, хранения, передачи, преобразования, свертки.

На практике используются разные методы количественной оценки информации. Часть их базируется на универсальном описании - через число сообщений, количество операторов, файлов, в знаках или двоичных цифрах: битах, байтах. Эти определения в основном относятся к области информатики.

Возможно описание информации, основанное и не на универсальных методах. Так, учет объема книг ведется в печатных листах, страницах машинописного текста и буквенно-цифровых знаках, где пробел считается за знак. Печатный лист – 40 тыс. знаков. На 1 странице компьютерного набора через интервал при использовании 14-ого размера шрифта содержит примерно 3000-3200 знаков, т.е. печатный лист - это примерно 12-13 страниц. На телевидении и радио учет информации иногда ведут в минутах. Например, 1 минута рекламы на ОРТ и НТВ в «час пик», т.е. во время наибольшего рейтинга, стоит до 60 тыс. долларов и даже больше, т.е. здесь идет учет времени и денег. В лесхозе единицей информации может служить количество выданных разрешительных документов на рубку леса, т.е. количество вырубаемых лесосек. Варианты здесь бесконечны.

В сложных системах особенно важны вопросы передачи информации. Сама передача информации может быть предметом специального рассмотрения. В этом случае выделяют потоки информации, составляют их специальные схемы типа структурных. В

них указываются источники и потребители информации, направление передачи, ожидаемый объем, форму представления и другие характеристики. Примером может служить инструкция по делопроизводству на предприятии, например в лесхозе. Там сказано, кто и какую информацию получает и перерабатывает, куда отправляет, кто следит за ее отправлением, кто осуществляет контроль исполнения, сроки и формы представления информации и т.д.

Подобные схемы принято называть информационным графом или информационной структурной системой. Информационный граф может быть исследован с целью минимизации потоков информации или сокращения их длины, с точки зрения отсутствия или наличия дублирования, путем передачи информации и т.д.

Например, можно исследовать целесообразность всего потока бумаг, что поступают в лесхоз от Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. Может быть, часть их можно реализовать на уровне ПЛХО, не доводя до лесхоза, т.е. сократить длину потока. Кстати, много раз проводились реформы по сокращению отчетности, другого документооборота, но он все равно велик.

Другой пример из области таксации леса. Запас древесины можно получить разными методами: путем сплошного или выборочного перечета, по модельным деревьям, ксилметрическим способом и т.д. Но самый короткий путь, требующий сбора наименьшей информации при достаточной для целей лесоинвентаризации точности - использовать стандартную таблицу сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0, где задействована связь высота H - запас M , так называемый принцип Герхардта, что известно из курса лесной таксации.

Понятие информации обладает высокой степенью универсальности. В широком смысле функционирование системы можно трактовать как преобразование входной информации в выходную. Такая точка зрения особенно полезна при изучении принятия решения в системе.

2.3. Процессы в системе

Все системы обычно не остаются неизменными. В них происходят различные процессы, приводящие к другому состоянию системы. Рассмотрим какой-либо элемент системы. Что с ним может произойти? Он может быть помещен в систему, исключен из нее,

перемещен в системе из одного места в другое. Кроме того, могут быть изменены его связи.

Приведем примеры. Возьмем систему управления в лесхозе. Допустим, что элементом системы управления будет инженер по лесовосстановлению. Он помещен в нашу систему управления. Но в истории лесного хозяйства часто проходили сокращения. Тогда инженер по лесовосстановлению (особенно в лесной зоне) обычно сокращался первым, т.е. этот элемент из системы выводили. Сразу менялись связи в системе. Функции инженера по лесовосстановлению, как правило, передавали инженеру по лесопользованию, расширяя связи последнего. Спустя некоторое время названную должность восстанавливали, т.е. в системе снова происходят изменения.

Сказанное является изменением структуры системы.

Но возможны преобразования другого рода. Любой элемент обладает рядом свойств, характеристик, которые тоже могут меняться в процессе рассмотрения системы. Вследствие этого обычно изменяются свойства, характеристики группы элементов, модуля и системы в целом.

Вернемся опять к лесному хозяйству. В общей системе управления лесхоз можно рассматривать как некоторый модуль, состоящий из определенных элементов. В то же время функции лесхоза не остаются неизменными. В Беларуси часть лесхозов отказалась от деревообработки. Ряд ученых (профессор А.Д. Янушко и др.) считают, что в функции лесхозов должны входить работа по сбору «лесного урожая», т.е. по проведению рубок главного пользования с последующим распоряжением заготовленной продукции. Это, скорее всего, будет в ближайшие годы, т.е. функции лесхоза изменяются.

В России функции лесхозов трансформировались настолько, что в сегодня обычном нашем понимании лесхозов там практически не осталось. Заготовка древесины перешла к арендаторам, охрана от пожаров к МЧС и т.д. Это повлекло изменение всей системы лесного хозяйства России. Таким образом, изменение состава – модуля (лесхоза) ведет к изменению как свойств системы, так и к изменению самой системы.

Зафиксируем все значения характеристик в системе, которые значимы для наших целей. Такую ситуацию назовем состоянием

системы.

Если изменилась хотя бы одна характеристика, то это будет уже новое состояние системы. Аналогично можно рассмотреть третье, четвертое и последующие состояния, т.е. их набор. Но набор состояний - это еще не процесс. Это просто некоторая чисто статическая позиция.

Процессом называется набор состояний системы, соответствующий упорядоченному непрерывному или дискретному изменению некоторого параметра, определяющего характеристики (свойства) системы.

Приведем пример. Возьмем его опять же из лесного хозяйства. Допустим, идет заготовка леса с помощью многооперационных машин (харвестерлов): иностранного или отечественного производства. Этими машинами срезается дерево, выносится, укладывается. Харвестеры обрезают сучья и кряжуют дерево на сортименты.

Теперь возьмем фотоаппарат или кинокамеру и зафиксируем положение рабочих органов харвестера в разное время. Естественно, что во время работы стрела выноса, режущая головка и сам энергетический модуль (трактор) будут находиться в разном положении: стрела поднята, опущена, трактор стоит к нам разными сторонами.

Допустим, мы сделали 10 снимков. Будет ли этот набор фотоснимков характеризовать процесс заготовки древесины? Без дополнительной информации неизвестно. Если это последовательные по времени положения, т.е. подъезд к дереву, захват, срезание, подъем срезанного дерева, его вынос, пропуск дерева через головку для срезания сучьев и раскряжевка, поворот энергетического модуля, наклон дерева над штабелем, укладка в штабель, поворот от штабеля к другому дереву, то - да, это процесс заготовки древесины.

Если же снимки сделаны наугад или перемешаны, то соответствующий набор состояний не будет процессом. Скажем, видим укладку в штабель, затем пропуск дерева через головку харвестера, затем поворот модуля, наклон дерева над штабелем, срезание и т.д. Естественно, что без дополнительной информации назвать такой набор фотоснимков процессом нельзя - это некоторые фиксированные (статические) состояния системы.

Процесс движения или изменения системы во времени

называется динамикой системы. Параметрами процесса могут выступать разные физические величины (температура, давление), ее линейные или угловые координаты, скорость, физическое положение элементов системы в пространстве и т.д. Последний параметр (положение в пространстве) мы рассмотрели на примере харвестера.

Зависимость параметров процесса от линейных координат можно проиллюстрировать на примере атмосферы и связи ее характеристик с высотой: чем выше, тем плотность воздуха ниже, изменяются и другие его характеристики, химический состав (появился озон), падает (и повышается) температура и т.д.

Зависимость динамики системы от физических величин (температуры, давления) просматривается на примере хорошо известного многим лесоводам самогонного аппарата. Изменение температуры нагревания ведет к повышению давления, ускорению процесса перегонки спирта, а превышение некоторого порога этих параметров может привести к взрыву и разрушению системы. Хорошо, если при этом не пострадает обслуживающий персонал.

Естественный вопрос: откуда автор знает про самогонный аппарат? Поясню. В 40 км от Минска возле деревни Дудичи в кустах стоит единственный в Беларуси легальный самогонный аппарат. Самогон здесь гонят по специальной лицензии. Там я этот процесс и изучил. Это сделано для иностранных туристов, которые с интересом едут посмотреть на такое «чудо» и выпить 20 – 30 грам самогона. Всем интересно, а туристской фирме и государству доход. Должен сказать, что самогон из легального аппарата, по мнению лесоводов, его пробовавших, хуже, чем из нелегального. Впрочем, есть юмористическое замечание, что все вкусное и приятное или вредно (ведет к ожирению) или аморально или незаконно. Но это хорошо как цитата, а жизнь учит совсем обратному.

Обобщая все приведенные примеры, характеризующие параметры системы, лучше (более типично, во всяком случае) отнести перечисленные величины к характеристикам системы, которые сами зависят от других характеристик, например, от времени.

Для символической записи процесса в системе введем многомерную (по числу интересующих нас характеристик) величину u , описывающую конкретные значения этих характеристик:

Все множества упомянутых возможных величин обозначим через Y : $u \in Y$. Введем параметр процесса t , множество его значений T и

опишем y как функцию от этого параметра: $y = y(t)$. Тогда процесс St_0t есть некоторое правило перехода от ситуации со значением параметра t_0 к ситуации со значением $t > t_0$ через все его непрерывные или дискретные значения, т.е.:

$$St_0t(y(t_0)) = y(t), \quad y \in Y, t \in T \quad (2.8)$$

Этому же процессу будет соответствовать отображение множеств

$$T \times Y \rightarrow Y \quad (2.9)$$

Процессы в системе могут играть различную роль. Так, в системе разработки лесоустроительного проекта процесс проектирования от планового задания до выдачи таксационных описаний, картографических материалов, объяснительной записи и проектных ведомостей является основной функцией системы.

В целом функционирование (а также создание) сложной системы обычно является процессом.

Но в том же процессе создания лесоустроительного проекта и при самом проектировании необходимо дополнительно учитывать целый ряд внутренних процессов. Если таксатор намечает (проектирует) проведение рубок ухода, то здесь внутренними процессами будут законы роста и развития древостоя, накопление массы прироста, что должно учитываться в процессе проектирования. Если проектируются противопожарные мероприятия, то надо учитывать правила противопожарной безопасности, закономерности наступления пожарной опасности, законы и закономерности распространения огня в зависимости от типа леса и характеристики древостоя и т.д. При исследовании заготовки древесины к внутренним процессам можно отнести само резание, работу двигателя и др.

Обобщая сказанное, можно отметить, что типичным является учет процессов в системе как способ получения различных зависимостей выходов модулей от их входов в модулях разных иерархических уровней. При этом, в принципе, неважно, способствует ли в целом данный процесс выполнению системой ее функции или препятствует этому.

В нашем примере с харвестером к последнему случаю относятся, например, процессы износа, старения многооперационной машины, ее поломки при заготовке древесины.

Если будем рассматривать партию в шахматы как процесс, то препятствующей функцией будут действия вашего противника. К процессам с препятствием можно отнести охрану и защиту леса, где

препятствующей функцией являются действия лесонарушителей или массовое размножение насекомых-вредителей. Наиболее ярко выраженным процессом с препятствием являются боевые действия во время войны.

2.4. Целенаправленные системы и управление

Практически все искусственные системы являются целенаправленными, т.е. преследуют ту или иную цель. Это и понятно - раз мы создаем некоторую систему, то для чего-то это делается. В природе в естественных системах нет четкой цели, особенно на макро- и микроуровне. Поэтому известное поэтическое изречение: «Если зажигаются звезды, значит это кому-нибудь нужно!», - не более чем поэтический образ.

Понятие цели системы определим как задачу получения желаемого выходного воздействия или достижения желаемого состояния системы. Двоякая трактовка цели - через выходное воздействие или через состояние системы - удобна в практическом применении.

В теории можно считать целью только выходные воздействия, а желаемое состояние включать в список этих воздействий. В конкретных случаях такая интерпретация состояния системы может вносить дополнительные трудности, а иногда даже приводить к путанице. Поэтому лучше иметь и то, и другое: и выходные воздействия, и состояние системы.

Поясним все сказанное примером. Допустим, мы строим систему управления лесным хозяйством. Система, несомненно, искусственная. Ее целью будет получение достаточного количества древесины и других ресурсов и полезностей леса для удовлетворения потребностей народного хозяйства при соблюдении принципа непрерывности и неистощительности лесопользования, одновременно обеспечивая сохранение и приумножение экологических свойств леса. Это выходное воздействие системы. В то же время, если мы достигаем этого выходного воздействия, то система приходит в некоторое состояние: есть иерархия (управление от министра до лесника), модули (ПЛХО, лесхозы), выполняются указания, идет заготовка древесины и посадка леса, все работают, т.е. это и состояние системы, и получение нужного выходного воздействия, что на практике будет

одно и то же.

Постановка перед системой конечных глобальных целей влечет за собой необходимость выполнить ряд дополнительных действий, а именно:

1. Сформулировать локальные цели, стоящие перед элементами системы и группами элементов.

2. Обеспечить целенаправленное вмешательство в функционирование (строение, создание) системы.

Обе перечисленные операции тесно связаны. На практике сначала обычно разбивают глобальную цель на набор локальных, а потом ищут пути достижения локальных целей.

Продолжим пример с управлением лесным хозяйством. Большая глобальная цель, которую мы сформулировали как получение достаточного количества продуктов и полезностей леса при соблюдении определенных ограничений, распадается на ряд мелких (локальных): лесовосстановление, уход за лесом, охрана леса, защита леса, определение размера главного пользования, решение вопросов финансирования, снабжения техникой, материально-техническое обеспечение и т.д.

Пути достижения локальных целей тоже непросты. Каждую локальную цель можно рассматривать как некоторый модуль, разделив его в свою очередь на новые локальные цели. Так, лесовосстановление делится на получение семян, выращивание сеянцев и саженцев, подготовку почвы, посадку лесных культур, естественное возобновление и т.д.

Следовательно, набор локальных целей, как правило, сам имеет иерархическое многоуровневое строение и в той или иной степени соответствует общей иерархии в системе. В этом случае «локальные цели» есть собирательный термин для целей всех иерархических уровней. Для всех из них можно указать, в какую цель более высокого уровня она входит и (кроме целей самого низшего уровня) на что дробится она сама.

При модульном строении системы локальные цели выступают как требования к выходам (или выходным характеристикам) модулей. Именно продуманные требования на выходы согласовывают модули так, что состоящая из них система выполняет глобальную цель. Таким образом, локальные цели выступают важными регуляторами организации частей и элементов в целенаправленную систему, а их

согласование направляет проводимые в системе изменения в единое русло.

Заметим, что согласование обычно является сложной, плохо формализуемой процедурой. При этом конкретная локальная цель может получаться и такой, что затруднит выполнение соседней цели, и лишь компромисс между ними даст продвижение к глобальной цели системы. Особенно трудно согласуются локальные цели, имеющие одинаковый иерархический уровень.

Сказанное поясним примером. Мы уже определили цель системы управления лесным хозяйством - выращивание нужного леса при определенных ограничениях, соответствующих принципах устойчивого развития в трактовке специальной сессии ООН по развитию, состоявшейся в Рио-де-Жанейро в 1992 году. Одной из локальных целей является рубка леса, т.е. главное пользование. Другую локальную цель мы определили как лесовосстановление. Между ними должно быть согласование. Но достигается это с трудом. Даже в том случае, когда рубка леса и лесовосстановление находятся в одних руках (скажем, их выполняет лесхоз), не говоря уже о тех примерах, где они разведены по разным ведомствам. Лесозаготовители не хотят оставлять низкие пни, если лесозаготовки ведутся зимой, при глубоком снеге, делать очистку лесосек и т.д. Все это увеличивает их затраты на заготовку древесины, снижает прибыль и заработок. Для целей лесовосстановления, наоборот, желательно, чтобы пни были вообще убраны, а подрост сохранен. Как правило, такого не бывает. В тоже время с точки зрения экологии и биологии леса порубочные остатки надо оставлять на перегнивание. По правилам пожарной безопасности их надо сжечь. Для обеспечения ТЭЦ местным топливом вся древесина, включая порубочные остатки, должна быть вывезена в качестве топливного сырья. Из приведенного примера видно, что удовлетворить все запросы, которые часто являются альтернативными в казалось бы несложном процессе лесозаготовок, практически очень трудно, даже невозможно.

Решение лежит в некоторой компромиссной области: допустимая высота пней, определенные условия уборки сучьев, сохранение подроста и т.д. Но выдерживается этот компромисс не всегда, и только иерархия в системе управления позволяет соблюсти правила лесозаготовок, а также в той или иной мере интересам всех заинтересованных сторон.

Перейдем теперь к обсуждению того, как и за счет чего может быть выполнена конкретная цель.

Целенаправленное вмешательство в процесс в системе называется управлением. Управление – важнейшее понятие для целенаправленных систем. Оно естественным образом связано с постановкой целей: именно возможность вмешательства, выбора, альтернативы делает процесс в системе вариативным, а один или более из этих вариантов - ведущим к достижению цели.

Все сказанное аксиоматично, и потому понятно и без примеров.

Управление - универсальный термин в системе огромного многообразия его конкретных реализаций: в математических моделях мы можем выбирать числа, функции, алгоритмы, графовые структуры; в технических системах - силы, геометрические размеры, различные сигналы, включая команды для компьютера, физические величины - от температуры до жесткости материалов, концентрации и перемещения веществ; в экономике - размеры финансирования, материальные ресурсы и сроки их поставки, расстановку кадров; в социальной области и управлении - приказы, советы, действия, методы влияния на общественное мнение, организацию новых коллективов. Здесь перечислена лишь малая доля того, чем в целях управления можно распоряжаться в сложной системе.

Управление - чрезвычайно широкий и свободный в употреблении термин. Строгий (научный) подход к управлению требует четкого, однозначного определения следующих условий:

1. Того, чем мы распоряжаемся.
2. Каковы пределы, в которых мы можем выбирать.
3. Каково влияние данного управления на процесс.

На практике по всем перечисленным требованиям могут быть неясности, а двумя последними иногда вовсе пренебрегают. Это обычно приводит к тому, что управление не ведет к цели. Такое положение возможно и в строгой трактовке управления - когда отсутствует описание процесса в системе. В этом случае мы просто набираем опыт работы с «черным ящиком».

Попробуем применить сказанное к конкретным ситуациям в системе управления лесхозом и лесничеством. Я приведу случаи из своего опыта.

Пример выполнения первого требования - знать пределы того, чем мы распоряжаемся. После окончания института работал

лесничим, принимал лесничество от весьма эрудированного лесоведа, который любил лес. Ему нравилось его охранять и растить, но он терпеть не мог вникать в учет, отчетность и т.д. В результате лесничий не знал, где и сколько (в каком обходе и в котором квартале) имеется деловой древесины и дров. Спрос в тех местах на древесину был огромный. Деловые сортименты и дрова раскупались, что называется, «из-под топора». Бухгалтерские данные устаревали уже через неделю. Но лесничего такое положение не беспокоило. Он давал команды выписывать лесопroduкцию, глубоко не вникая в ее учет. В результате при отпуске леса возникала страшная путаница. Я после вступления в должность лесничего полгода расхлебывал результаты такого управления, когда лесничий не знал пределов того, чем он распоряжался. Где-то были выписаны дрова, которых не было в натуре, где-то лежали нереализованные жерди, предъявляли законные претензии потребители, не получившие товар и т.д.

Далее рассмотрим следующий принцип: каковы пределы, в которых мы можем выбирать.

Здесь приведу пример противоположный. Есть в Беларуси Бешенковичский опытный лесхоз в Витебской области. Очень долгое время (лет 35) им руководил Заслуженный лесовод БССР Николай Афанасьевич Лабков. Его хорошо знали и знают почти все лесоводы республики. Руководитель «от Бога». Мне не раз приходилось с ним общаться. Расскажу один случай. Едем по лесу. В одном месте вид леса плохой: бурелом, ветровал, сухостой. Я говорю Н.А. Лабкову: «Почему Вы не дадите команду, чтобы это все убрали?» Дело было в начале 80-х годов, когда в лесном хозяйстве существовал большой дефицит рабочей силы. Николай Афанасьевич отвечает: «В этом лесничестве нет рабочих. Лесники еле-еле справляются с планом. По лесничеству прошел ураган. Места здесь труднодоступные, отдаленные. Сбыт древесины слабый. Поэтому потребители помочь в заготовке не могут. Значит, объективных условий быстро очистить лес лесничий не имеет. Моего приказа он просто не может выполнить. Потому я не могу отдать невыполнимого распоряжения, так как не хочу быть директором, чьи приказы не выполняются». Директор Н.А. Лабков прекрасно понимал пределы, где он имел возможность выбора и не выходил за них.

Пример применения третьего принципа: каково влияние данного управления на процесс. Вспоминается снова неумение пользоваться

названным принципом. В одном из лесничеств, куда я перешел на работу, помощником трудился уже пожилой человек, лет 55-57. Несмотря на солидный возраст и весьма значительный послужной список (он имел высшее лесное образование и знал лучшие времена), этот грамотный специалист в целом хороший и добрый человек не научился правильно руководить людьми. И главное неумение заключалось именно в нарушении третьего принципа управления. Он почти не интересовался, как «его слово отзовется», как выполняются команды, каково влияние управления на ход дела. Помощник много кричал, распекал подчиненных, ругался матом, но тут же забывал свои «разносы». Поэтому на его команды и управленческие решения мало кто обращал внимание. Считался он хорошим человеком, на его мат не обижались, но и команды выполняли выборочно или не выполняли совсем. Вскоре он ушел на другую работу.

Из приведенных примеров видно, что принципы управления достаточно строги, и их нарушение ведет к хаосу.

Следует сказать, что в случае, когда мы исходим из некоторой цели организации процесса (что чаще всего и бывает), может быть ситуация, при которой не существует управления, обеспечивающего ее выполнение. Тогда пробуют расширить пределы, в которых выбирается управление, ввести новые управляющие воздействия (т.е. еще что-то разрешить изменить), иногда кардинально перестраивают структуру системы. В этой ситуации цель не лежит в области достижимости, которая обеспечивается имеющимися управлениями, и надо либо расширить эту область, либо перемещать в ее направлении цель.

Например, в рамках жесткой плановой системы в бывшем СССР не достигалась эффективность производства. Предприятия были невосприимчивы к научно-техническому прогрессу. Плановую экономику заменила рыночная. Но и она в чистом виде не ведет к гармонизации производства и жизни общества, что видно на примере многих стран бывшего СССР. Поэтому в Республике Беларусь принята своя модель развития экономики. Приоритет отдается рыночным принципам, но при сильном управляющем воздействии государства. Это положительно влияет на экономику, не давая ей скатиться в анархию и обеспечивает сильную социальную политику,

т.е. провозглашена и реализуется рыночная, но социально ориентированная экономика. Мы видим, что на этом пути достигнуты большие успехи: наше государство давно превзошла уровень, имевшийся в СССР, есть устойчивый ежегодный рост экономики, сохранена и усиленна продовольственная безопасность, наука и образование, имеем рост реальных доходов населения и т.д.

Сделаем символическую запись введенных понятий.

Общий вид процесса St_t с управлением и из некоторой возможной совокупности U есть

$$(St_t)^u (y(t_0)) = y(t,u); y \in Y, u \in U \quad (2.10)$$

Сравните (2.10) с (2.8), и вы найдете определенное сходство и различие. Приведенному управляемому процессу будет соответствовать отображение множеств

$$U \times T \times Y \rightarrow Y \quad (2.11)$$

В (2.10) отражена лишь управляемость, вариативность процесса, но не его цель. Для записи процесса, приводящего к выполнению цели, начнем с того, что введем специальное обозначение для тех выходных воздействий, на которые можно влиять выбором управлений U . Такими будут величины f , обычно называемые критериями. Они являются частью выходов $\overline{X_{jk}}$ и $\overline{X_j}$ рассматриваемого нами модуля (об этом мы уже говорили ранее) или системы в целом.

Обозначим теперь желаемый вид выходных действий через f_G , где G есть символ поставленной цели. Критерии f , естественно, считаем зависящими от характеристик u :

$$f = f(u) \quad (2.12).$$

Допустим, что существует (или он задан) момент t_G и имеется состояние характеристик u_G , позволяющее достичь цели f_G . Пусть состояние u_G может быть достигнуто управляемым процессом $(St_t)^u$. Тогда управление U_G , позволяющее выполнить цель f_G , определяется как часть триады (t_G, u_G, u_G) , удовлетворяющее соотношениям $(St_t)^u$.

$$(St_t)^u (y(t_0)) = y(t,u), f(y) = f_G; y \in Y, t \in T, u \in U \quad (2.13)$$

Перейдем к примерам.

Рассмотрим процесс подачи семян в лесопосадочной машине ИЛАНА. Под параметром процесса t понимаем место семени в лентопротяжном механизме, т.е. в кассете. Характеристикой процесса $u(t)$ считаем скорость движения ленты. Выбор управления будет

состоять в регулировании и поддержании оптимальной $y(t)$. Критерий $f(y)$ - это предел, который может выдержать лента без сбоев подачи сеянца, без обрыва и т.д. Мы этот параметр знаем (он рассчитывается, т.е. можно считать, что t_G задан). Цель t_G - ввод величин f в некоторый диапазон, обеспечивающий стабильную подачу сеянцев.

Заметим, что такая задача, вроде бы, имеет вид, отличный от записи (2.13). Действительно, стандартная математическая запись нахождения многомерной величины f в заданном диапазоне есть

$$a_s \leq f_s \leq \beta_s; \quad s = 1, 2, \dots$$

Дело здесь заключается в том, что под целью f_G понимается любая точка множества, описываемого приведенными неравенствами.

Управлением может быть и параметр процесса t . Например, в приведенной задаче надо максимизировать скорость движения ленты при некоторых ограничениях: чтобы лента не рвалась, шла нормальная подача сеянцев (они не должны перекашиваться, сминаться) и т. д. Если параметром процесса является время, то определяется наименьшее его количество для прохождения всей ленты, т.е. высаживание 2000 сеянцев. Во всех этих случаях величина t включается в список управлений u .

Обозначив глобальную цель через G^0 , набор локальных целей первого иерархического уровня - через $\{G'\}$, второго - через $\{G''\}$ и т. д., запишем иерархическую структуру в системе в виде

$$G^0 \rightarrow \{G'\} \rightarrow \{G''\} \rightarrow \dots \quad (2.14.)$$

Графическое изображение этой структуры будет совпадать со схемой древовидной (веерной) структуры, которую мы рисовали ранее (рис. 2.4.а.).

Иерархию целей поясним на примере конструирования лесопосадочной машины (рис.2.6.).

Приведенная схема демонстрирует важное свойство управлений в сложной системе, состоящее в том, что собранные все вместе они сами образуют некоторую систему (или подсистему), обладающую связями, структурой, иерархией. Такая система управления как бы накладывается на основную и обеспечивает ее превращение в целенаправленную систему. В связи с этим системы управления составляют предмет отдельного изучения.

В системах управления очень важно поступление своевременных и адекватных управляющих команд. Источниками, формирующими управляющие команды, могут быть:

- технические средства: управляющие компьютеры, микропроцессоры, программные устройства, регуляторы, следящие, стабилизирующие, компенсирующие системы и т. п.;

- действия и решения человека: оператора, водителя, диспетчера, эксперта, директора, другого администратора или ответственного лица и т. д.

Оба названные источника обладают рядом общих свойств, определяемых их воздействующим характером на процессы в системе. В то же время они имеют и существенные отличия. У каждого из них есть свои достоинства и недостатки, что нами ранее частично рассматривалось (см. 2.1. про автоматизированные системы). В практике обычно используются положительные свойства обоих методов управления.



Рис. 2.6. Иерархия целей в схеме конструирования лесопосадочной машины

Глава 3 ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

3.1. Формулировка и обсуждение принципов

Мы уже говорили, что сложный объект надо рассматривать и как целое, и как состоящее из отдельных частей. Здесь требуется диалектический подход, т. е. нужно исследовать предмет с разных точек зрения, с разных сторон, вдаваться в его внутреннее строение, организацию и историю развития.

Все эти вещи надо определить более четко, полно и удобно. Они излагаются в принципах системного подхода. Принципы системного подхода - это утверждения достаточно общего характера, обобщающие опыт работы человека со сложными системами.

Сначала сформулируем названные принципы, а потом их обсудим. Итак, известны следующие основные принципы системного подхода.

1. Принцип конечной цели: абсолютный приоритет конечной (глобальной) цели.

2. Принцип единства: совместное рассмотрение системы как целого и как совокупности ее частей или элементов.

3. Принцип связности: рассмотрение любой части совместно с ее связями с окружением.

4. Принцип модульного построения: полезно выделение модулей в системе и рассмотрение ее как совокупности модулей.

5. Принцип иерархии: полезно введение иерархии частей (элементов) и (или) их ранжирование.

6. Принцип функциональности: совместное рассмотрение структуры и функций с приоритетом функции над структурой.

7. Принцип развития: учет изменяемости системы, ее способности к развитию, расширению, замене частей, накоплению информации.

8. Принцип децентрализации: сочетание в принимаемых решениях и управлении централизации и децентрализации.

9. Принцип неопределенности: учет неопределенностей и случайностей в системе.

Теперь рассмотрим сформулированные выше принципы подробнее.

Первый из них - принцип конечной цели. Он означает, что в

целенаправленной системе все должно быть подчинено глобальной цели. Любая попытка изменения, совершенствования управления в такой системе должна оцениваться с точки зрения того, помогает или мешает она достижению конечной цели. Это накладывает особую ответственность на выбор цели и ее четкую трактовку. Расплывчатые, не полностью определенные конечные цели влекут за собой неясности в структуре и управлении системой, и, как следствие, неверные действия в системе. Такие действия могут быть и следствием неверия в конечную цель и в возможность ее достижения.

В несколько измененной трактовке принцип конечной цели применяют и к системам, которые не являются целенаправленными. В этом случае понятие конечной цели заменяют понятиями основной функции, основного назначения, свойства системы. При этом названный принцип указывает, что изучение и работа с системой должны вестись на базе первоочередного уяснения этих понятий.

Для примера возьмем разработку лесоустроительного проекта. Какова главная цель? Видимо, обеспечить оптимизацию рационального многоцелевого использования и воспроизводства лесных ресурсов и полезностей леса на принципах непрерывности и неистощительности при сохранении и приумножении экологических свойств леса, т.е. с соблюдением требований устойчивого развития. Допустим, что в систему проектирования мы вносим некоторые изменения, скажем, корректируем проведение полевых работ, делая их более простыми и дешевыми. Оценку внесенных изменений надо давать не по полученной текущей экономии или укоренению полевых работ, а по тому как это отразится на глобальной цели проекта. Если исходная информация для проектных решений останется в пределах требуемой точности и достоверности, то изменение управления системой оправдано. Но, если она ведет к утере какой-то информации, что в конечном итоге снижает эффективность использования и воспроизводства лесных ресурсов, то такое управленческое решение следует считать неправильным.

Продолжим анализ принципа конечной цели. Если мы названную цель подменим другой, например, решим, что надо обеспечить максимальный объем заготовки древесины в ближайшие 5-10 лет, то в конечном итоге система станет действовать неправильно, и отрицательные последствия такого управления рано или поздно проявятся. Это значит, что конечная цель не будет достигнута.

Вспомним, что нарушение принципа непрерывности и постоянства пользования лесом в СССР в 30-60-е годы XX века привело к почти полному уничтожению спелых древостоев в большинстве районов Европейской части СССР. При этом был получен временный эффект в виде расширенного лесопользования в течение 20-25 лет. В 30-е годы среднегодовая рубка древесины по главному пользованию составляла 17 млн.м³ в границах БССР до 1930г., т.е. примерно на 2/3 ее современной территории, доходя в отдельные годы до 25 млн.м³. Вспомним, что ежегодная расчетная лесосека в настоящее время составляет менее 7 млн.м³.

Такое лесопользование продолжалось до 70-х годов второй половины прошлого века. Результатом стало почти полное исчезновение спелых насаждений. Хотя в начале 60-х годов возраст рубки искусственно снизили на один класс возраста, т.е. приспевающие древостои назвали спелыми, но продолжавшиеся избыточные вырубки привели к тому, что в 1992 году в Беларуси имели лишь немного более 2% спелых лесов при норме 15 – 20 %. Негативные последствия подмечены в 30-60 годы XX века главной, научно обоснованной цели некоторыми промежуточными задачами лесной комплекс Беларуси ощущает до сих пор: из-за нарушений возрастной структуры лесов при среднем приросте в 25 млн.м³ мы вправе вырубать лишь 12 –13 млн.м³. Увеличение вырубki в настоящее время привело бы к уничтожению молодых насаждений.

Примером расплывчатых, не определенных конечных целей, что вызвано неверием в достижение конечной цели, была система руководства Советским Союзом в годы застоя (1966-1985), когда в качестве главной цели страны и общества было объявлено о построении коммунизма, но в него те, кто осуществлял верховное управление, не верили. В результате глобальная цель только декларировалась. Подменялась она какими угодно локальными целями, никак не связанными с коммунистической идеей. Отсутствие глобальной цели в столь сложной искусственной системе, какой был Советский Союз, привело к системному кризису государства и его краху.

Природные системы не имеют какой-то заданной конечной цели. Например, растет сосновый древостой естественного происхождения. У него нет цели, а есть функции. Природная функция - это обеспечение сохранения и расширения вида. Но нас, наряду с ней,

интересует накопление древесины, производство кислорода и некоторые другие функции леса. Изучение столь сложной системы и работа с ней должна вестись на основе первоочередного изучения функций древостоя, выяснения их природы и законов, по которым они существуют и развиваются.

Хорошо, если наша цель совпадает с главной функцией природной системы. Тогда успех придет быстрее. Так, селекционеры зерновых культур находятся в более благоприятных условиях, чем селекционеры - лесоводы. Тот факт, что земледелие, а, следовательно, и селекция зерновых, существуют несколько тысячелетий, а лесная селекция насчитывает от силы сотню лет, а также тот факт, что результат в зерновом хозяйстве получает ежегодно, а в лесоводстве через десятки лет, отбросим для чистоты опыта. Селекционеры зерновых культур, увеличивая объем семян (урожай), развивают главную функцию растения, направленную на сохранение и экспансию вида - размножение. Лесоводам приходится направлять усилия на важную для дерева, но все же не самую главную его функцию - увеличение размеров и массы вегетативной части, т.е. ствола. Лесная наука преодолевает эту трудность, но результат достигается с большими усилиями, чем мог быть получен, если бы главная цель хозяйства и основная функция лесного насаждения совпадали.

Таким образом, создавая или изучая природные системы, мы должны четко выделять главную цель или функцию и ей следовать. Отступление от этого принципа ведет к системному кризису и разрушению системы.

Следующие три принципа обладают тесной взаимосвязью и иногда даже объединяются в один принцип единства и связи. Но все же их лучше рассмотреть отдельно.

Второй по очередности, но не по значимости - **принцип единства** - это ориентация на "взгляд вовнутрь" системы или ее части. **Принцип связности** - это "взгляд изнутри". В разные моменты полезна та либо другая ориентация.

Примером применения **принципов единства и связности** будет изучение физиологии и анатомии человека, животных, растений. Нельзя рассматривать работу печени без связи с кровеносной системой. Отсюда следует, что для функционирования печени важна хорошая работа сердца. Не обойтись здесь и без рассмотрения работы

желудка: печень утилизирует яды. Естественно, приходится учитывать сигналы из мозга и т. д. Рассматривая организм в целом, мы можем признать его здоровым только тогда, когда все его части здоровы, т. е. система рассматривается и как целое, и как совокупность частей.

Третий – **принцип связности**. При рассмотрении любой системы видим, что ее часть существует не сама по себе, а в связи с окружением. Возьмем к примеру лесное насаждение. Пусть его частью будет подрост. Существование этой части насаждения зависит от наличия и густоты древостоя (в первую очередь), подлеска, напочвенного покрова (в первые 1-3 года жизни), почвы, количества животных (лосей, оленей, которые съедают подрост) и т.д. Поэтому говорить о перспективах нового насаждения (из подростка) можно, только изучив связь подростка с окружением.

В практике лесоводства проявления принципа единства и связности встречается часто. Приведу пример из собственной практики. Работая лесничим в Комаринском лесхозе, в 60-е годы прошлого века, несколько лет не удавалось облесить дюнные холмы в пойме Припяти. Условия местопроизрастания представляли сухой бор ($A_0 - A_1$), где росли единичные деревья сосны возрастом 100-140 лет. Их корневая система, раскинутая очень широко, перехватывала влагу и питательные вещества. Из-за недостатка питания и влаги молодые посадки погибали. Лишь после вырубki старых единичных деревьев культуры сосны успешно прижились, и ныне там растет хорошее 45-летние насаждения. В других условиях произрастания (A_2-A_3, B_2-B_3) столь пагубного влияния единичных деревьев на молодые посадки не наблюдается.

Четвертый **принцип - модульного построения системы**. Этот принцип указывает на возможность рассмотрения вместо части системы совокупности ее входных и выходных воздействий. Он утверждает полезность абстрагирования от излишней детализации при сохранении возможности адекватного описания системы. Так, работая с компьютером, мы широко пользуемся подпрограммами. Иногда нас даже не интересует как организована и как работает подпрограмма, так как для пользователей главное – результат. Например, надо решить систему дифференциальных уравнений. Сами эту систему мы иногда решить не можем: не знаем как это делается, слишком трудная задача для реализации и т. д. Пользуясь же модулем системы

(подпрограммой), получаем искомый результат.

В системе управления лесным хозяйством модулем часто выступает лесхоз. Министерство лесного хозяйства или ПЛХО спускает ему директиву (на лесозаготовки, объемы посадки лесных культур и т. д.) и получает конечный результат, который отражен в отчете, и при этом вышестоящая организация не вдается в детали: в каких лесничествах, по какой технологии сделана работа и т. д.

Пятый принцип – **принцип иерархии в системе**. Принцип иерархии акцентирует внимание на полезность изыскания или создания в системе иерархического (доминирующего) характера связей между элементами, модулями, целями. Преимущества и недостатки иерархической системы мы ранее уже обсуждали. Здесь же надо пояснить понятие "ранжирование" в формулировке 5-го принципа системного подхода.

Иерархические системы (особенно искусственные) обычно исследуются и создаются "сверху", начиная с анализа модулей первого иерархического уровня. В случае отсутствия иерархии исследователь должен решить, в каком порядке он будет рассматривать части системы, т.е. провести их ранжирование. Так, конструктор при создании новой машины или нового узла выделяет в нем начальный элемент, к которому потом на чертеже подгонит второй, третий, следующий. При конструировании той же лесопосадочной машины таким первым элементом будет высаживающий аппарат, зависящий от величины сеянца. Наладчик (компьютера, телевизора) начинает поиск неисправности в системе с тестов, определяющих наиболее типичные отказы. В рассмотренных примерах введен порядок рассмотрения сложной системы, который и называется ранжированием. Оно применимо и в сочетании с иерархией в системе для введения очередности в модулях одного и того же уровня.

Например, надо подготовить телефонный справочник предприятий лесного хозяйства - искусственная система. Здесь есть иерархия. Его составление начнем, конечно же, с самого верхнего иерархического уровня - с Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. Следующим уровнем будет областной уровень – ПЛХО. Между отдельными ПЛХО нет иерархии, но ранжирование провести надо. Принимаем какой-то принцип ранжирования и размещаем все ПЛХО одно за другим. Эти принципы могут быть

разные (с востока на запад, по величине территории), но обычно используют самый простой и всех устраивающий - по алфавиту. После ПЛХО приведем сведения о лесхозах. Это уже более низкий иерархический уровень. Между собой лесхозы тоже как-то будут ранжированы, видимо, опять же по алфавиту в пределах областей. Это типичный пример ранжирования в сочетании с иерархией. На этом ранжирование справочника с высшим иерархическим уровнем – Минлесхозом – обычно заканчивается, т. к. дальнейшее снижение ранга ведет к увеличению детализации и громоздкости. Если же высший иерархический уровень здесь будет ПЛХО, то низшим обычно становится лесничество.

Рассмотрим теперь шестой *принцип - функциональности*. Он утверждает, что любая структура тесно связана с функцией системы и ее частей, и исследовать или создавать структуру необходимо после уяснения функций в системе. На практике это означает, что в случае придания системе новых функций полезно пересматривать ее структуру, а не пытаться втиснуть новую функцию в старую схему.

Такой подход к системе известен из глубокой древности. Вспомните библейское (из Нового Завета): "Нельзя вливать вино молодое в мехи ветхие. И мехи порвутся, и вино вытечет". В наших условиях перестройка производства, связанная с введением автоматизации или компьютеризации (или того и другого вместе), ведет как к возникновению новых подразделений (вычислительный центр, группа системных программистов, группа создания и сопровождения банка данных), так и к перестройке имеющихся: бухгалтерии, планового отдела и т. д. Эти изменения затрагивают и систему управления. Принцип функциональности в системном анализе схож с философскими категориями формы и содержания, т. е. форма определяется содержанием и, наоборот, содержание зависит от формы его выражения.

Из труб газопровода можно сделать некоторое сооружение, (допустим, арку, забор), но это уже будет не газопровод, т. е. изменив форму и функцию частей, изменили систему. Городской парк внешне схож с лесом. Но функция его иная. Изменив функцию, мы изменим и форму, а парк даже по форме лесом назвать нельзя. Есть, конечно, лесопарки, которые по сути являются лесами, но и функции их отличаются от центральных парков культуры и отдыха больших городов.

Рассматривая принцип функциональности, заметим, что мы определили функцию системы как некоторое ее свойство, т.е. рассматриваем функцию системы (или модуля, элемента) в том плане, что она может сделать нужного и важного для целей рассмотрения.

В системном анализе значение слова "функция" отлично от этого понятия в математике. Это плохо, но, к сожалению, термин прижился. Понятие "может сделать" (влиять, обеспечивать) не совпадает с математическим понятием функции как некоторой зависимости, связи. Сравните $y=f(x)$, где $f(x)$ может принимать самые разные формы. Например, в простейшем виде зависимость высоты дерева от его диаметра на 1,3 м можно выразить функцией $H=a_0+a_1D+a_2D^2+a_3D^3$. Ясно, что это совсем не то, что мы понимаем под словом "функция" в системном анализе. Поэтому, говоря о функциях в системном анализе, мы должны подразумевать именно этот смысл "что может сделать система". В какой-то мере здесь применимо слово "назначение".

Следует помнить, что к естественным системам термин "что может сделать система", "назначение", строго говоря, неприменим. Мы не вправе заявлять, что назначение атмосферы – это поддержание жизни живых существ. Такое утверждение неверно в принципе. Наоборот, жизнь на Земле приспособилась к существующей атмосфере. А, вот, про функцию атмосферы в математическом смысле как зависимость от некоторых параметров, мы говорить вправе. Аналогичные примеры можно привести и по другим природным объектам: океан, лес, зверь, человек.

При рассмотрении природных систем принцип функциональности применим, но в этих системах надо понимать функцию как результат взаимодействия некоторых элементов системы при определенных условиях.

Седьмой принцип – **принцип развития**. Он хорошо пояснен в самой формулировке, изложенной выше. Понятие развития, изменяемости при сохранении качественных особенностей выделяется почти в любой естественной системе, а в искусственных возможность развития, усовершенствования, как правило, закладывается в основу создания системы. При модульном построении такое развитие обычно сводится к замене и добавлению модулей (частей).

Возьмем пример из техники. При конструировании машины (конечно, если конструкторы талантливые, и машина у них вышла хорошая) с самого начала создается некоторая базовая модель.

Впоследствии она модернизируется, расширяется сфера ее применения, улучшаются рабочие параметры. Это может быть только при надежной базовой модели. Такой моделью явился трактор МТЗ (Беларус). На основе его базовой модели сделано много модификаций: сельскохозяйственная, землеройная, транспортная и т. д.

Хорошей базовой машиной стал автомобиль-самосвал БелАЗ грузоподъемностью 25 т. Здесь на основе успешно найденной колесной формулы развито целое семейство самосвалов БелАЗ. Подобных примеров много: самолеты ТУ, МИГ (21-23-25-27-29), СУ(17,27,31), серия спутников Союз-Салют и т.д.. Известно, что лучшим танком второй мировой войны был Т-34. Когда в 1943 году оказалось, что его пушка (76 мм) уступает немецкому «Тигру», Т-34 быстро модернизировали, увеличив калибр его орудия до 85 мм, поставили дульный тормоз, и танк, благодаря заложенной в конструкции возможности развития, успешно действовал до конца войны.

В лесном хозяйстве подобные примеры можно привести, вспомнив бензопилы "Дружба", лесопосадочную машину ЛМД-1. Принцип развития заложен и в зарубежных бензопилах (Хюскварна, Штиль), а также в шведских харвестерах. Зарубежные бензопилы адаптированы по видам рубок, т.е. на основе общей модели сделаны разные модификации. Шведский или немецкий лесоруб никогда не возьмет на прореживание бензопилу, которой он работал на рубках главного пользования, т.к. это будет неэкономичным. Аналогичную картину видим и с харвестерами. Для выполнения рубки леса в древостоях разного возраста используют машины, оптимальные по мощности и экономичности, хотя и построенные на основе одной базовой модели.

Применяя принцип развития, надо помнить, что у него есть свои пределы, достигнув которых, надо менять систему. Нарушение этого подхода ведет к технической отсталости. Например, в СССР и России конструкторы вовремя не сменили систему бензопил. Поэтому сегодня российские бензопилы по своим основным параметрам значительно уступают шведским (Хускварна), немецким (Штиль) и др. Другим примером являются самолеты, с поршневыми двигателями. После войны они исчерпали свои возможности развития, и их двигатели были заменены реактивными. При этом пришлось менять и всю конструкцию самолета.

Принцип развития должен закладываться и при создании систем управления, чтобы последние могли адекватно реагировать на изменяющиеся экономические и политические условия. Не зря опытные администраторы говорят: «Предприятие, которое не развивается - закрывается». При этом развитие - это далеко не обязательно расширение, увеличение объемов работ, набор людей. Может быть структурное развитие, изменение ассортимента и удешевления продукции, другая перестройка по требованию рынка, модернизация и т.д.

Возможности развития, т.е. расширение функций и модернизация закладываются при построении обширных компьютерных программ, банков данных, автоматизированных систем и т.д.

При изучении возможностей развития системы нужно помнить о принципе разумной достаточности. Пределы расширения функций ограничены. Выход за эти пределы ухудшает систему, а иногда и делает ее недееспособной. Так, нежелательно разрабатывать одну программу для управления станком (для станков с ЧПУ) и для игры в шахматы или ведения бухгалтерских операций: зарплата, баланс и т.д..

Есть конкретные примеры, когда, выйдя за пределы разумной достаточности, принцип развития давал отрицательные результаты. Мы уже упоминали танк времен Второй мировой войны - Т-34. Он был достаточно прочен, мощен, но и весьма маневренен. Во втором периоде войны перед нашими конструкторами поставили задачу создать тяжелый танк. Его и создали – танк ИС-1 и ИС-2. Но в процессе доводки со стороны высшего руководства появились требования по совершенствованию и развитию машины: увеличить калибр пушки, утолщить броню и т.д. Конструкторы вынуждены были учитывать эти пожелания. В результате танк ИС-2 оказался плохим - его переусложнили и перетяжелили. Он стал неповоротлив, часто ломался двигатель. На нем была только одна хорошая вещь (модуль) - мощная пушка. Впоследствии ее и использовали - во время напряженных советско-китайских отношений в 60-е годы закопали сохранившиеся танки ИС-2 на советско-китайской границе. Аналогичную ошибку допустили и немцы. В конце войны они сделали сверхтяжелый танк («Мышонок»), который оказался нетранспортабельным. В серию он так и не пошел и демонстрировался после войны лишь на выставке трофейного оружия

в Москве.

В сложившейся в бывшем СССР системе управления народным хозяйством такими дефектами (переусложнением) обладали некоторые сверхкрупные промышленные предприятия, колхозы и совхозы, которые со временем теряли управляемость. Их потом вынуждены были разукрупнять. Не обошло переусложнение и систему управления лесным хозяйством. При оптимальном размере лесхоза в 50-60 тыс.га появились лесхозы площадью в 120 тыс.га и более, часть из которых потом были разукрупнены.

В то же время унификация каких-то модулей, возможность их замены (модернизация) дает широкий простор для развития системы. Очень большие возможности развития есть в кибернетике, особенно на путях создания искусственного интеллекта.

Перейдем к восьмому принципу – **принципу децентрализации**. Здесь требуется, чтобы управляющие воздействия и принимаемые решения исходили не только из одного центра (главенствующего элемента). Если управление исходит из одного места, то такая система считается полностью централизованной. Подобное положение может быть оправдано лишь при особой ответственности главного элемента за все происходящее в системе, или при неспособности частей системы самостоятельно реагировать на внешние воздействия.

Для примера рассмотрим управление автомобилем, т.е. систему человек-машина. Ясно, что она полностью централизована, т.к. управляемый модуль (автомобиль) не в состоянии адекватно реагировать на внешнюю ситуацию, и все управляющие воздействия осуществляет человек. Другой пример - группа детсада, младшие классы в школе. Ясно, что здесь тоже есть почти полная концентрация властных функций у главенствующего элемента, т.е. командуют воспитатель и учитель, хотя ситуация уже не столь однозначная как в предыдущем примере. Какая-то степень свободы есть и у детей, т.е. здесь видим пусть и небольшую, но уже децентрализацию.

Система с полной централизацией не гибка, она не приспособляется к условиям среды (вернее, недостаточно хорошо приспособляется), не обладает «внутренней активностью». Здесь все зависит от главенствующего элемента. При этом важна его способность принимать правильное решение.

На этом пути человека, который принимает решение, подстерегает много трудностей. Даже компетентный руководитель не

всегда сможет принять правильное решение, т.к. это зависит от полноты и достоверности переработанной и проанализированной информации. В сложных централизованных системах поток информации к главному элементу очень большой. В результате каналы информации оказываются переполненными, и до адресата доходит только часть необходимых сведений. Хорошо, если это основная и не искаженная информация, что бывает не всегда.

Примеры у всех на виду. Известно, что агрессия США против Ирака имела формальным поводом поиск в этой стране ядерного оружия. Информация оказалась неверной. Но здесь не все однозначно. Скорее всего, это была сознательная дезинформация общества, для обеспечения США своих экономических интересов за чужой счет. На войне действия командира часто не оптимальны или даже ошибочны именно от недостатка знаний о противнике: о его силах, намерениях. Вспомним высадку союзников в Нормандии в 1944 году во время второй мировой войны. Немецкое командование получало огромное количество информации, среди которой истинное место высадки затерялось: немцы считали наиболее вероятным местом десанта пролив Па-де-кале.

Хорошо известно, что в 1941 году Сталин имел полную информацию о сроках нападения Германии на СССР, но под влиянием дезинформации и по своему ограниченному восприятию реальности поставил вооруженные силы страны и само государство в тяжелейшее положение.

Из сказанного вытекает, что ставить функционирование системы в зависимость только от главного элемента, это значит рисковать всей системой. Даже в такой жестко централизованной системе как армия подчиненным элементам предоставляется определенная свобода действий. При этом им дается тем больше свободы, чем опаснее ситуация. В мирное время диктат генерала больший, чем на войне. Правда, и ответственность подчиненного элемента за данную ему свободу действий на войне намного больше и оценивается жизнью командира и подчиненных.

В лесном хозяйстве каждый руководитель знает пределы свободы своих действий. Плох тот директор лесхоза, который указывает лесничему как ему вести рубку или посадку леса на конкретном участке, какой трактор или бригаду рабочих куда направить. В этом случае требуется инициатива лесничего. Поскольку все мелочи

директор лесхоза учесть не в состоянии, то когда он вмешивается по мелочам в работу подчиненных, система управления работает не эффективно.

В силу вышеизложенного большинству систем (а естественным почти всем) свойственна та или иная степень децентрализации. Здесь тоже надо знать меру, найти оптимальное сочетание централизации и децентрализации. Если лесничий в своей работе все замкнет «на себе», то отобьет всякую инициативу у подчиненных. Но, если все решения производственных вопросов перепоручит лесникам и мастерам, то получит анархию.

При полной децентрализации управления появятся противоречия между подчиненными, которые они сами преодолеть не смогут. В лесничестве это может выразиться в том, что одному сегодня хочется грузить вагон, а второму заготавливать дрова, третий же, вообще, решил отметить день рождения кума. Таким образом, чем выше степень децентрализации при принятии решения в системе, тем сложнее они согласовываются с точки зрения выполнения глобальной цели. Поэтому должно быть оптимальное сочетание централизации и децентрализации.

Достижение общей цели сильно децентрализованной системой может обеспечиваться лишь каким-либо устойчиво работающим механизмом регуляции, не позволяющим сильно уклониться от поведения, ведущего к выполнению цели. Например, в децентрализованной системе проведения полевых работ при лесоустройстве, когда каждый инженер-таксатор работает в отдельном лесном участке (лесничестве), таким регулятором служат требования единой лесоустроительной инструкции и проверки выполнения этих требований.

Положение, когда есть большая децентрализация, но действует четкий механизм регуляции, возможно только при наличии сильной обратной связи. Поэтому, как уже отмечено выше, обратная связь - важное условие хорошего функционирования сложной системы.

По подобному принципу функционирует рыночная экономика: спрос определяет увеличение производства и уровень ВВП. В живой природе можно вспомнить систему акула-лоцман. Маленькие рыбки наводят акулу на косяк рыб и питаются остатками ее трапезы. В лесу в какой-то мере эту функцию может выполнять сорока, оповещающая хищника о наличии недалеко от нее крупного животного в надежде

заполучить его останки после трапезы этого крупного хищника: волка, медведя.

В системах, где устойчивых механизмов регуляции нет, неизбежно наличие той или иной степени централизации. При этом возникает вопрос об оптимальном сочетании команд извне (сверху) и команд внутри данной группы элементов. Общий принцип такого сочетания сводится к тому, чтобы степень централизации была минимальной, обеспечивающей выполнение поставленной цели.

В качестве примера рассмотрим функционирование системы управления лесничеством. При одних и тех же функциях и элементах системы (план, прибыль, мастера, лесники, рабочие) степень централизации во многом зависит от лесничего. Один лесничий работает по принципу «незаменимого». Он все замыкает на себе. Другой дает полную самостоятельность подчиненным. Третий поступает так же как второй, но ряд принципиальных вопросов согласовывает и решает сам или с помощником. Он осуществляет постоянный контроль. Последнее и есть обратная связь - как реализуются управленческие решения.

Теперь смоделируем ситуацию, когда все трое лесничих пошли в отпуск на 2 месяца.

В первом случае никто не будет принимать кардинальных решений: скажем, взять на работу нового лесника или срочно назначить к вырубке горельник. Все будут жить по принципу: «Вот приедет барин, барин нас рассудит». Результат функционирования системы отрицательный, хотя система относительно жизнеспособна.

Во втором случае (полная бесконтрольность) отсутствия лесничего даже не заметят, особенно на дальних участках. Анархия, которая была при нем, будет продолжаться. За нарушения никто не ждет наказания. Это самый худший вариант. Система не работает.

В третьем варианте система будет работать без сбоев. Подчиненные привыкли трудиться самостоятельно, но знают, что вернувшийся лесничий потребует отчета и проконтролирует работу. Это лучший вариант.

Выводы: первого лесничего следует научить или заставить сменить стиль работы. Второго надо увольнять - лесничество развалено, и новому руководителю придется долго налаживать дисциплину и развивать чувство ответственности. Третьего надо поощрять. Он кандидат на выдвижение на должность главного

лесничего или директора лесхоза.

Сочетание централизации и децентрализации имеет и еще один аспект. Его частным случаем (хотя и частным, но очень частым) будет передача сверху обобщенных команд, которые конкретизируются на нижних иерархических уровнях.

Например, в уже упоминаемой системе управления лесным хозяйством из области в лесхоз приходит распоряжение о вырубке сухостойной древесины на месте пожара. Эта команда в лесхозе преобразуется в разрядку по лесничествам, древесным породам, конкретным участкам, что заканчивается выпиской лесорубочного билета. В лесничестве команда дробится дальше - дают указания мастерам, определяются бригады лесорубов. И только на последнем этапе вальщик запускает бензопилу и смотрит, с какого дерева начать заготовку древесины. Этим самым сохраняется принцип централизации, но он сочетается с разумной децентрализацией.

Сейчас в это трудно поверить, но в 30-х и до половины 50-х годов XX века в СССР существовала настолько жесткая централизация в управлении промышленностью, что министр часто вникал в работу отдельных цехов и участков. Кто читал книгу писателя А.А. Бека «Новое назначение», помнит, что там подобная ситуация описана очень ярко и красочно. Но уже к 50-м годам, когда объемы производства сильно расширились, система перестала работать и ее пришлось перестраивать.

Нам осталось рассмотреть девятый основной принцип системного анализа - **принцип неопределенности**. Он утверждает, что мы можем иметь дело с такой системой, в которой нам не все известно или понятно. Это может быть система с невыясненной структурой, с непредсказуемым ходом процессов, со значительной вероятностью отказов в работе элементов, с неизвестными внешними воздействиями и другим. Частным случаем неопределенности выступает случайность - ситуация, когда вид события известен, но оно может либо наступить, либо не наступить.

Примеров неопределенности много. Так, человечество издавна знало о свойствах ряда лекарственных трав. Знания были получены эмпирическим путем, т.е. методом проб и ошибок. Принцип действия лекарств, т.е. структура системы, долго оставались неизвестны. Такой подход приносил пользу, хотя были и значительные издержки, когда лечили совсем не тем. Сегодня мы периодически наблюдаем случаи

реального излечения болезней экстрасенсами и «бабками», хотя механизм реализации здесь тоже до конца не ясен.

В системе «война», «битва», «спортивная игра», ряде природных систем часто имеется непредсказуемый ход процессов, особенно, если необходимой информации недостаточно, и к тому же идет активное противодействие главной цели. Когда испытывают новую машину, новые технологии и др., то часто наблюдают отказы в работе элементов системы. Бывает такое и в системах управления, когда подводят исполнители. Все это относится к случайности.

Типичный пример случайности - воздействие малых доз радиации на организм человека. Можно рассчитать довольно точно, сколько и каких заболеваний будет на 100 тыс. человек, при заданном радиационном фоне, т.е. при какой коллективной дозе возникает заболевание. Для отдельного человека - это случайность, которая может произойти, хотя лучше, чтобы не произошла. То же в известной мере можно сказать и про дорожно-транспортные происшествия.

На основе определения принципа случайности выводится полное поле событий - это такое их множество, про которое известно, что одно из них обязательно наступит.

При рассмотрении систем неопределенность должна быть учтена. Ее учет осуществляется разными способами. Все зависит от вида информации, которой мы располагаем.

Во-первых, можно оценивать «наихудшие» варианты ситуации (их еще называют «крайние»), и рассмотрение проводить для них. В этом случае мы определяем некоторое «граничное» поведение системы и на основе его можем делать выводы о ее поведении вообще. Этот способ обычно называют методом гарантированного результата (оценки).

Пример. Проводим выращивание сеянцев в питомнике. Успех в большой мере зависит от влажности почвы. Мы не знаем, какое будет лето. Руководствуясь только что названным принципом, предполагаем наличие очень сильной засухи. Соответственно разрабатываем систему полива: рассчитываем мощности насосов, длину шлангов, объем резервуаров для воды, количество электроэнергии или топлива для двигателей и т.д. В этом случае гарантируется обеспечение сеянцев влагой в любом случае. Если же будут идти дожди, полив проводить не будем.

Это надежный способ, но в большинстве случаев он оказывается

нерациональным и почти всегда неэкономичным. Его используют только в очень важных системах, от которых зависит существование государства, фирмы и т.д. Такими являются система стратегической безопасности государства (ракеты стратегического назначения, ПВО и т.д.), устройства по безопасности полетов, хотя последние реализуют далеко не всегда, особенно в России. Например известно, что можно практически полностью исключить аварии самолетов. Но стоит это очень дорого. Поэтому ограничиваются некоторой практической достаточностью, допуская незначительную вероятность аварии.

Второй способ. По информации о вероятностных характеристиках случайностей (математическому ожиданию, дисперсии, коэффициенту вариации и т.д.) можно определить вероятностные характеристики выходов в системе. Мы здесь получаем сведения лишь об усредненных характеристиках совокупности однотипных систем.

Продолжим тот же пример с питомником. Проанализируем метеоданные за 10-20 лет и выведем среднее количество осадков. С учетом их вариации спроектируем систему полива. Она окажется более рациональной, но уже 100% гарантии успеха нет, хотя с определенной (заранее заданной) вероятностью можем утверждать, что достигнем цели. Подобный подход применяют при проведении таксации лесосек. Так, точность оценки $\pm 10\%$ гарантируется в 99,9% случаев. Точность оценки $\pm 5\%$ можно достигнуть не более, чем в 68% случаев и т.д. Есть технологии абсолютно точной таксации древесины, например ксилометрия, но они слишком дороги.

В-третьих, за счет элементов дублирования и других приемов оказывается возможным из «ненадежных» элементов составлять достаточно «надежные» части системы. Математическая оценка эффективности такого приема основана на теории вероятностей и носит название теории надежностей.

В нашем примере, если мы избрали второй подход к системе полива, т.е. ориентируемся на средние многолетние количество осадков, мы можем подстраховать нашу систему, на случай засухи использованием дополнительных средств, предназначенных для других целей: пожарные машины, жижеразбрасыватели и т.д. Можно выбрать и место под питомник, где не столь вероятна опасность засухи.

Таковы основные принципы системного анализа.

Кроме названных основных есть много других принципов, не столь важных, или реже употребляемых, или имеющих характер уточнения основных принципов. Перечислим некоторые из них.

Принцип полномочности: исследователь должен иметь способность, возможность (иногда и право) исследовать проблему. Примеры для подтверждения этого принципа возьмем из анализа текущих событий, приводимых в средствах массовой информации. Вспомните, чем кончилось в России для ряда журналистов расследование конкретных проблем коррупции, воровства и т.д.: их нередко убивают или избивают. В области науки можно сказать, что если у исследователя нет нужных реактивов и оборудования, то бессмысленно заниматься генной инженерией, т.к. результаты будут нулевые.

Принцип организованности: решения, действия, выводы в системе должны соответствовать степени ее детализации, определенности, организованности. Например, нет смысла управлять системой, в которой команды не исполняются. Так, мы можем выдать разрешение старухе-крестьянке на право управления вертолетом «Черная акула». Но такое решение бессмысленно - у нее нет и не будет «Черной акулы», она не умеет на нем летать и т.д. Система выборов в США, России как бы предусматривает, что любой гражданин может стать депутатом парламента, а на самом деле без больших денег и поддержки высших чиновников партий или государства это невозможно. Поэтому попытки отдельных «романтиков» здесь заранее обречены на провал.

Принцип чувствительности (он близок к принципу организованности): вмешательство в системе должно согласовываться с уровнем ее реакции на вмешательство. Пример, по разному надо поворачивать руль в легковом новом «Мерседесе» и в старом изношенном ЗИЛе. Первый реагирует на малейшее движение руля, а у второго люфт около 30 градусов. Одинаковый поворот руля ведет к совершенно различным результатам. Второй пример: один лесник очень дисциплинирован, работящ, исполнительен. Другой - разгильдяй и лодырь. Первому достаточно, чтобы лесничий вежливо дал команду один раз, добавив слово «пожалуйста», а второму надо повторить несколько раз, указать на последствия его неисполнительности и т.д.

Принцип свертки: информация и управляющие воздействия свертываются (укрупняются, обобщаются) при движении снизу вверх

по иерархическим уровням. Пример. В лесничестве планируются рубки ухода в пределах квартала и выдела. В информации лесхоза, идущей в ПЛХО, такой детализации уже нет, а есть справка об общем объеме рубки по предприятию. ПЛХО, передавая эти данные выше, еще больше обобщает итоговые материалы.

3.2. Использование принципов системного подхода

Принципы системного анализа обладают высокой степенью общности, т.е. отражают отношения, сильно абстрагированные от конкретного содержания прикладных проблем. Такое знание нетипично для техники и естественных наук, в т.ч. и для лесного хозяйства. В системе управления, в том числе в технике, в лесном хозяйстве обычно используют утверждения и описания, пригодные для непосредственного использования.

Поэтому, если методы и принципы системного анализа, которые в целом являются достаточно общими, применяем для конкретных ситуаций, разработки определенных систем, решение возникших реальных проблем, необходимо вышеперечисленные принципы конкретизировать. Это проводится исследователем, составителем, разработчиком.

Опыт работы со сложными системами показывает, что такая конкретизация весьма полезна, так как позволяет лучше увидеть существенные стороны проблемы, учесть все важные взаимосвязи в ней. Часто продумывание конкретного содержания принципов системного подхода позволяет подняться на новый уровень осмысливания системы в целом, выйти за рамки узкого, внутреннего отношения к ней. Более подробно эти тезисы рассмотрим ниже, когда будем описывать применение принципов системного подхода в лесоведении.

Иногда интерпретация рассмотренных принципов для некоторого частного случая может привести к выводу (кстати, обоснованному) о незначимости какого-либо из принципов или об отсутствии условий для его применения.

В системе может не быть иерархии, она может считаться полностью определенной, связи могут быть заложены в самой математической модели (или заданы в другом виде) и не требовать специального рассмотрения и т.д.

Пояснить сказанное можно следующими примерами. Допустим, мы изучаем гусениц соснового шелкопряда, объедающих дерево. В этой системе: гусеницы соснового шелкопряда одного возраста - дерево трудно выделить какую-то иерархию. Здесь можно отметить, что такие элементы системы, как диаметр ствола, его освещенность не имеют существенного значения. Главное - плотность гусениц на 1 погонный метр охвоенных ветвей и погодные условия, а также наследственные свойства дерева (некоторые сосны повреждаются меньше), что и надо учитывать в первую очередь при разработке мер борьбы с вредителем.

В другом случае можем иметь полностью определенную систему. Можно сказать, что движение Луны вокруг Земли и последней вокруг Солнца до известной степени полностью определено законами небесной механики. Конечно, кометы или иные небесные тела, если они появляются из далекого космоса, могут вносить некоторые возмущения, но это имеет, скорее, теоретическое, чем практическое значение. Поэтому расчет приливов и отливов, лунных и солнечных затмений проводится с высокой точностью.

Правда, нельзя забывать, что один раз за несколько десятков миллионов лет с Землей сталкиваются достаточно крупные небесные тела, приводящие к значительным изменениям в эволюции жизни на планете. Так, примерно 60-65 миллионов лет назад с Землей столкнулся иридиевый астероид диаметром около 200 м. В результате выделившейся энергии, эквивалентной нескольким миллионам ядерных бомб, образовался кратер диаметром более 200 км и возник Мексиканский залив. На 3-5 лет наступило помутнение атмосферы (похожее на сценарий «ядерной зимы»), значительно снизилась температура. В результате вымерли динозавры. Это сегодня самая распространенная гипотеза их гибели. До этой глобальной катастрофы подобный астероид падал на Землю за 120 млн. лет, а до него еще за 250 млн. лет. Поэтому система движения планет вокруг Солнца, хотя и полностью определена, но случайности происходят. Правда, если астероиды и кометы и дальше будут падать с такой же очередностью, то 60-100 млн. лет спокойной жизни у нас есть. Не устроить бы самим чего-то похожего.

Когда исследователь долго работает с системным анализом, использует его принципы, то у него развивается особый тип мышления, который принято называть системным. Он умеет

правильно (адекватно) ставить задачи. Правильная постановка задачи - это на 40-50% (иногда и на 90%) определяет ее решение.

При изучении природных объектов, пожалуй, самое главное - правильно поставить задачу, т.е. определить что именно надо изучать. Допустим, мы хотим исследовать сосново-березовый древостой. Сразу возникает вопрос - как изучать. Рассматривать ли отдельно сосну и березу, или их вместе. Делить ли их на биогруппы или нет. Смотреть ли корневые системы и т.д. От формулировки задач во многом зависит и решение проблемы взаимодействия сосны и березы. Если мы будем смотреть только на кроны, а не раскопаем корни, то до конца систему смешанного древостоя не поймем. Поэтому человеку с системным типом мышления проще решать подобные задачи, чем неподготовленному исследователю.

Умение известных ученых видеть проблему системно поясню на примере. Этот рассказ я слышал от корифея советского лесоводства Владимира Петровича Тимофеева, профессора Тимирязевской сельхозакадемии. Было это в 1965 году в Подмосковье на семинаре по разведению лиственницы.

Будущий корифей лесоводства Владимир Петрович Тимофеев, в конце 20-х годов был молодым ученым и изучал взаимодействие лиственницы и дуба. При определенной густоте дуб угнетался и усыхал, хотя его освещенность была достаточной, а почва богатой, т.е. причина усыхания оставалась непонятной. Тимофееву посоветовали обратиться за консультацией к В.Р. Вильямсу, знаменитому ученому-почвоведу.

Молодой человек зашел в кабинет к маститому мэтру и изложил свою проблему. В.Р. Вильямс посмотрел на него исподлобья и недовольно произнес: «Вы, лесоводы, верхогляды!» Показал рукой в угол кабинета, где у него постоянно стояла лопата и сказал: «Бери и копай». Обратите внимание, какое меткое определение - «верхогляды». Оно несет много смысловых нагрузок. Разве не верно, что мы и сегодня, спустя почти 80 лет после приведенного разговора, изучая лес, смотрим в основном вверх. Но, если бы только это! Нередко и второй смысл слова нам присущ. В.П. Тимофеев сделал почвенные раскопки и установил, что лиственница, развивая очень мощную корневую систему, сильно иссушала почву, от чего страдал дуб.

Какой замечательный урок системного анализа получил молодой

ученый! Хотя тогда и термина этого не употребляли, но крупные ученые всегда мыслили системно.

Принципы системного анализа очень удобны для критики существующих систем, нахождения в них изъянов и ошибок. Но не только для этого они годятся. Именно на перечисленных принципах базируется почти все математическое обеспечение работы компьютеров, создание многофункциональных вычислительных сетей, автоматизированных систем управления производством (АСУП), систем проектирования (САПР) и даже решения изобретательских задач (ТРИЗ). В будущем принципы системного анализа найдут еще более широкое применение в связи с усложнением управления, научных исследований и полной компьютеризацией.

Глава 4 МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Формирование общих представлений о системе

Усвоив основные определения системного анализа и принципы системного подхода, можно переходить к методологии системных исследований. Обобщенная методика его проведения выражается в виде последовательных стадий и приемов, которые выполняются в большинстве случаев. Это достаточно абстрактная схема, поэтому при работе с конкретной системой можно приведенной последовательности придерживаться не очень строго.

Работа по системному анализу начинается с формирования общих представлений о системе. Здесь возможны следующие этапы.

1. Выявление главных функций (свойств, целей, предназначения) системы. Формирование или выбор основных предметных понятий, используемых в системе.

На этой стадии речь идет об уяснении основных выходов в системе - именно с этого лучше всего начинать ее исследование. Должен быть определен тип выхода: материальный, энергетический, информационный. Они должны быть отнесены к некоторым понятиям: физическим или иным.

Так, выход системы лесхоз – это продукция. Сразу определяем – какая. Или это прирост запаса древесины, или сбережение леса, или кубометры заготовленных деловых сортиментов и т.д. Скорее всего,

все вместе. В этом плане работать с системой «лесхоз» даже сложнее, чем с системой «завод», особенно однопрофильной. Хотя объемы выходов в лесхозе обычно меньше, но сами выходы весьма разнородны, причем часто не однозначны с наличием противоречий между разными выходами. В качестве примера назовем заготовку древесины и сохранение биоразнообразия. Известно, что вырубка древесины по главному пользованию, особенно при сплошнолесосечной системе ведения хозяйства, ведет к снижению биоразнообразия. Нам же его требуется сохранить.

Выходом АСУ являются сигналы. Сразу ставим вопрос – какие? Выход проектного учреждения (того же лесоустроительного предприятия) - проектная документация. Тот же вопрос – какая, для чего? Выход системы «двигатель» - мощность – какая - механическая, электрическая и т.д.

2. Выявление основных частей (модулей) системы и ее функций.
Понимание единства этих частей в рамках системы.

На этой стадии происходит первое знакомство с внутренним содержанием системы, выявляется из каких крупных частей она состоит и какую роль играет каждая часть в системе. Это стадия получения первичных сведений о структуре и характере основных связей.

Такие сведения удобно представлять и изучать при помощи структурной схемы системы. Для этого находим характер соединения частей (последовательный или параллельный), определяем его преимущества и недостатки. Рассматриваем взаимодействие между частями системы. Смотрим, каковы они: взаимные взаимодействия или преимущественно односторонние.

На этой стадии надо обратить внимание на системообразующие факторы, т.е. на связи, взаимообусловленности, которые и делают систему системой.

Продолжим рассматривать в качестве примера лесхоз. Какие части или модули есть в системе «лесхоз»? Видимо, это лесничества. Сюда в большинстве лесхозов добавятся цеха по переработке древесины, а в некоторых из них и по заготовке и переработке недревесной продукции леса. Модулем можно считать отделы лесхоза и лесничества. Ключевую роль в нашей системе играют лесничества. Именно от их работы зависит основной результат деятельности лесхоза.

Нарисуем схему системы «лесхоз» (рис. 4.1).

На приведенной схеме «лесхоз» видим последовательные и параллельные соединения частей. Проанализировав их взаимодействие, заметим, что влияния в основном односторонние при наличии обратной связи.

3. Выявление основных процессов в системе, их роли, условий осуществления; выявление стадийности, скачков, смен состояний и т.п. в функционировании системы. В системах с управлением требуется выделение (выявление) основных управляющих факторов.

На этом этапе изучается динамика важнейших изменений в системе, ход событий в ней, вводятся параметры состояния, рассматриваются факторы, изменяющие эти параметры и обеспечивающие течение процессов, условия начала и конца процессов и т.д. Изучается управляемы ли процессы и способствуют ли они осуществлению системой своих главных функций. Для управляемых систем уясняются основные управляющие воздействия, их тип, источник и степень влияния на систему.

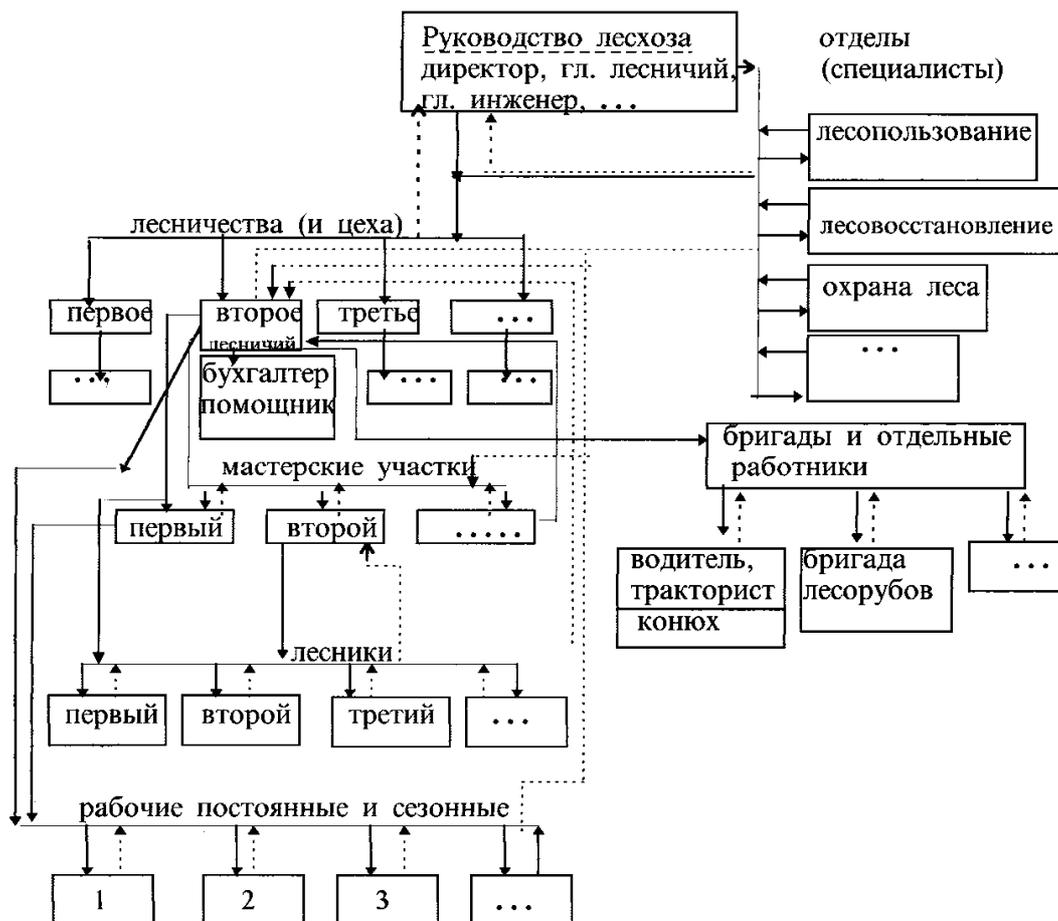


Рис. 4.1. Схема системы «лесхоз».

Продолжая анализировать взятую для примера систему «лесхоз», уточним основные процессы, идущие в системе. Основной процесс – это управление лесными ресурсами путем посадки леса, рубок ухода, рубок главного пользования, борьбы с вредителями, пожарами, охраны леса от самовольных порубок. Сюда же войдет охрана и воспроизводство фауны, лесохозяйственные мероприятия, рекреационное обустройство лесов и т.д.

Затем анализируем условия осуществления этого управления: наличие кадров, техники и т.д. Стадийность, смена состояний в отдельных процессах здесь тоже видна. Так, в одних процессах (модулях) присутствует сезонность (лесовосстановление, пожары), в других этой сезонности нет, например, лесозаготовки и переработка древесины ведутся круглый год.

Основные управляющие факторы в системе «лесхоз»: проект

организации и развития лесного хозяйства, текущий план, устав предприятия, где расписано, что оно делает и как управляется, приказы и распоряжения директора, лесничего. Их изучение показывает, что процессы в системе вполне управляемы.

Подробное рассмотрение какого-либо процесса в системе «лесхоз» проследим на примере главной рубки леса. Здесь есть начало процесса (подготовка лесосеки, выписка лесорубочного билета), его конец (освидетельствование лесосеки), ускорение, замедление обратная связь – все это мы можем регулировать. Каковы в лесхозе основные управляющие воздействия? Это сдельная зарплата, приказы, поощрения, наказания (какие?) и т.д. и т.п.

4. Выявление основных элементов «не системы», с которыми связана изучаемая система и их связей.

На этой стадии изучают основные внешние воздействия на систему - входы. Устанавливают их тип, т.е. являются ли они вещественными, энергетическими, информационными. Определяют степень входа каждого влияния на систему, основные их характеристики. Фиксируют границы системы, находят элементы «не системы», на которые направлены основные выходные воздействия.

Здесь же можно проследить путь формирования системы и ее эволюцию. Иногда именно это ведет к пониманию структуры и особенностей функционирования системы. Такой анализ важен при изучении естественных систем. На этой стадии мы должны хорошо уяснить главные функции системы, ее зависимость и уязвимость или относительную независимость во внешней среде.

Продолжим пример с рассмотрением системы «Лесхоз». Каковы здесь будут основные элементы «не системы», с которыми наиболее связана наша система? Это Министерство лесного хозяйства, ПЛХО, местные органы управления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, инспекция по охране животного и растительного мира при Администрации Президента Республики Беларусь, различные иные контролирующие органы, администрация района, те предприятия, которые расположены на территории, где протекает деятельность лесхоза, потребители продукции, милиция и суд, пожарная охрана и т.д.

Степень влияния большинства из них на работу лесхоза высокая. Иерархия этого влияния соответствует месту каждого элемента «не системы» в иерархической государственной структуре управления. В

то же время нельзя преуменьшать роль потребителей продукции лесхоза. Хотя они могут и не занимать высокого положения в иерархической структуре управления, от потребителей древесины и другой продукции лесхоза зависит его экономическое положение.

Основные элементы «не системы», на которые направлены основные выходные воздействия системы «лесхоз»: население (потребители), предприятия, ПЛХО, местная администрация и контролирующие органы и т. д. Таким образом, система «лесхоз» зависит от многих элементов «не системы» (каких?), в то же время имеет устойчивость, основанную на использовании местного сырья, ее нужности людям (народному хозяйству), наличию подготовленных местных кадров и т.д.

Рассмотрим теперь взаимодействие естественной системы с «не системой». Для примера возьмем лесное насаждение. На него влияют многие биотические, абиотические и антропогенные факторы. Вряд ли следует подробно описывать зависимость роста и развития древостоя от температуры, увлажненности (осадки), влияние ураганов и сильных морозов. Все эти воздействия зарождаются и существуют вне системы «лес», «лесное насаждение».

Примером биотических воздействий «не системы» может служить выпас скота в лесу, что приводит к деградации подростка. Домашний скот не входит в систему «лес». Правда, в настоящее время в Беларуси выпас скота в лесу встречается редко. Но в прежние годы он был широко распространен. Во многих странах, особенно развивающихся, это настоящий бич лесных насаждений. Значительное воздействие на лес оказывают дикие парнокопытные животные: лоси, олени, косули, кабаны. Их очень высокая численность ведет к деградации лесных биоценозов. На территории Уссурийского края России значительный урон лесным насаждениям наносят обильные там мышевидные грызуны, почти целиком уничтожающие семена и плоды деревьев и кустарников.

К антропогенному влиянию «не системы» отнесены промышленные выбросы, рекреационные нагрузки и главное - рубки леса. При анализе системы «лес», «лесное насаждение» эти важные воздействия требуется учитывать.

5. Выявление неопределенностей и случайностей, если они могут оказывать существенное влияние на систему.

Рассмотрим подробнее неопределенности и случайности в

системе «лесхоз». Их в работе лесхоза много, и они оказывают существенное влияние на работу этой системы. Назовем некоторые из них.

Погодные условия. Мы точно не можем сказать, будут ли они нам благоприятны в текущем году. От погоды зависит успешность выращивания посадочного материала, рост и приживаемость лесных культур, количество и площадь пожаров. По большому счету от погоды зависит и текущий прирост, но в работе лесничего и директора лесхоза он пока не учитывается так, как это должно было бы быть. От погоды зависят условия лесозаготовок и вывозки древесины.

Второе – политическое положение, законодательство и т.д. В общем, это должны быть достаточно определенные и стабильные вещи, что имеет место в нашей стране. В Беларуси принят Лесной кодекс, разработана четкая система нормативных документов по ведению лесного хозяйства.

Второй неопределенностью в системе «лесхоз» являются условия финансирования. Здесь тоже все должно быть четко прописано. Но той определенности как в первом случае здесь нет и, как правило не бывает. Это связано с тем, что финансирование в значительной мере зависит от спроса и предложения на продукцию лесхоза, организацию им менеджмента, покупательной способности потребителей и многих других причин. С развитием рыночных отношений финансовое положение лесхозов становится лучшим, но и неопределенность возрастает. Бюджетное финансирование было более скудным, но устойчивым и определенным.

В естественных системах, например биологических, неопределенность проявляется в неполной детерминированности происходящих процессов. Для примера можно взять размножение и происходящую при этом передачу наследственных признаков. Велика неопределенность и при влиянии различных элементов «не системы», на будущее потомство: его выживаемость, условия развития и т.д.

Кадровые и социологические проблемы часто тоже бывает не всегда определенными: отношения в иерархии начальник – подчиненный и т.д. Все это нам надо учитывать, планируя получить желаемый выход системы, т. е. чтобы достичь поставленной цели.

Этой стадией заканчивается формирование общих представлений о системе. Как правило, этих представлений оказывается мало.

Поэтому дальше идет углубленное изучение системы.

4.2. Углубленное изучение системы

Оно складывается из нескольких позиций, а именно:

1. Выявление разветвлений структуры, иерархии, рассмотрение системы как совокупности модулей, связанных входами - выходами.

2. Выявление элементов и связей, важных для рассмотрения. Их отнесение к структуре иерархии в системе. Ранжирование элементов и связей по их значимости.

Стадии 1 и 2 при углубленном изучении системы тесно связаны между собой. Стадия 1 - это предел познания «внутри» достаточно сложной системы для лица, оперирующего с нею целиком. Более углубленные знания (стадия 2) будет иметь уже только специалист, отвечающий за отдельные части системы. Для не очень сложного объекта уровень стадии 2 - знание системы целиком - достижим и для одного человека.

Таким образом, обе стадии говорят об одном и том же, но в первой из них мы ограничиваемся тем разумным объемом сведений, который доступен одному исследователю.

При углубленном изучении нужно выделить именно существенные для нас элементы (модули) и связи, отбрасывая все то, что не является важным. Это сделать не всегда просто, т. к. нередко заранее не известно, что окажется более, а что менее важным. Поэтому процесс отделения важного от второстепенного часто протекает трудно. Детализация должна затронуть и уже рассмотренную связь системы с «не системой». На стадии 2 совокупность внешних связей считается проясненной настолько, что мы имеем право говорить о доскональном знании системы.

Перечисленные выше две стадии углубленного анализа системы подводят итог общему, цельному ее изучению. Дальнейшие стадии рассматривают только отдельные стороны системы. Поэтому, закончив изучение в рамках описанных стадий, надо еще раз обратить внимание на системообразующие факторы, на роль каждого элемента и каждой связи, на понимание, почему они именно таковы или должны быть именно таковы с точки зрения единства системы.

Пример системы «лесхоз» для обеих стадий углубленного рассмотрения слишком прост. Здесь один человек вполне может

охватить взглядом всю систему - вплоть до лесников и рабочих. В лесхозах Беларуси обычно 6-12 лесничеств, имеющих по 2-3 мастерских участка, в которые входит по 4-6 лесников. Всего средний лесхоз занимает около 70-80 тыс. га, имеет 100-150 лесников, 60-120 ИТР и служащих лесничеств, 12-16 работников лесхоза. В цехах переработки древесины трудятся в среднем 40-100 человек. Рабочих во всех лесничествах насчитывается от 40 до 200 человек. Итак, всего в лесхозе работает примерно 400-600 человек.

Но уже проанализировать все элементы (детали) в системе всего лесного хозяйства Беларуси, даже в конкретном ПЛХО одному человеку невозможно. Поэтому на высшем иерархическом уровне управления лесным хозяйством нашей страны необходимо при анализе системы «лесное хозяйство» ограничиваться стадией 1. Сказанное подтверждается сведениями о структуре отрасли «лесное хозяйство» и численности ее работников. В состав Министерства лесного хозяйства входит 6 ПЛХО, 92 лесхоза, примерно 850 лесничеств, проектные учреждения: Белгослес, Белгипролес, и другие организации и службы. Всего в системе «лесное хозяйство» трудятся около 40 тысяч работников.

Ранжирование элементов в системе «лесхоз» достаточно просто и идет по иерархии: директор - лесничий - мастер - лесник с разветвлением: инженер, рабочий и т. д. Поэтому деление системы для ее детального анализа отдельными исполнителями будет целесообразно при рассмотрении или создании других, более сложных чем лесхоз систем. Ранжирование элементов системы необходимо и при решении исследовательских задач, связанных с природными объектами.

Если мы рассматриваем систему управления отраслью (пусть того же лесного хозяйства), то здесь руководитель может успешно владеть только общими сведениями и в случае необходимости углубляться в отдельные частности. Например, в Министерстве могут анализировать какое-либо крупное нарушение или достижение в конкретном лесхозе. Дойти до знания всех деталей работы подведомственных предприятий руководитель отрасли физически не в состоянии, да это и не требуется.

Изучая сложную природную систему «лес», один человек может получить только весьма общие знания о ней: деревья, кустарники, трава, почва, фауна и т. д. В зависимости от решаемой задачи при

рассматривании системы необходим анализ стадии 1 или 2 при углубленном изучении. Можно подойти к декомпозиции леса и по-другому: изучать древесину, пни, сучья, живицу, ягоды, грибы, охоту и т. д. Но вникнуть в суть, изучить досконально каждый модуль (элемент) системы одному человеку трудно. Поэтому деревьями занимаются дендрологи, ассимиляционным аппаратом - физиологи, травами - ботаники, почвой - почвоведы, фауной - зоологи и т. д.

Если смотреть на лес как на систему в потребительском плане, то древесина и пни интересуют лесозаготовителя, ягоды - потребкооперацию и население, звери - охотников и т. п.

Таких примеров очень много из всех областей знания.

3. Учет изменений и неопределенностей в системе.

На этой стадии исследуется медленное, как правило, нежелательное изменение свойств системы, которое принято называть «старением», а также возможности замены отдельных частей (модулей) на новые, позволяющие не только противостоять старению, но и повысить качество системы по сравнению с ее первоначальным состоянием. Такое совершенствование искусственной системы называют развитием. К нему также относят улучшение характеристик модулей, подключение новых модулей, накопление информации с целью ее лучшего использования, а иногда и перестройку структуры, иерархии, связей.

Основные неопределенности в стохастической системе считаются исследованными при формировании общих сведений о системе (раздел 4.1., п. 5). Однако недетерминированность всегда присутствует и в системе, не предназначенной работать в условиях случайного характера входов и связей. О приемах учета неопределенностей и случайностей мы говорили, когда обсуждали принципы системного анализа. Здесь только добавим, что учет неопределенностей в этом случае превращается в исследование чувствительности важнейших свойств (выходов) системы. Под чувствительностью понимаем степень влияния изменения входов на изменение выходов.

В подобных случаях наиболее удобно брать примеры из техники или из опыта создания автоматизированных систем управления. Но есть примеры и из нашей отрасли. Приведем те и другие.

Рассмотрим систему «автомобиль». При его проектировании и разработке обязательно учитывают, что узлы и агрегаты, отдельные

детали (модули, элементы) изнашиваются, т. е. стареют. От этого система (автомобиль) приобретает нежелательные свойства: увеличивается расход топлива, снижается надежность, безопасность и т. д., вплоть до остановки. Поэтому через какое-то время предусматривается замена деталей и узлов, т. е. модулей и элементов системы. При этом более простые и дешевые детали меняют скорее и чаще, чем более дорогие и сложные. Так, свечи меняют чаще, чем блок цилиндров; резину - чаще, чем задний мост и т. д. В ряде случаев замена модулей приводит к лучшей работе системы, чем исходная. Скажем, замена двигателя на очень старых автомобилях на моторы от современных автомобилей (такая практика есть) повышает экономичность автомобиля и улучшает другие его качества. Иногда это требует перестройки всей структуры и связей системы. Например увеличение мощности двигателя требует усиления ходовой части.

Автомобиль должен быть прогнозируемой системой. Здесь нежелательны неопределенности типа - заведется или нет, послушается руля или нет, т.е. наша автомашина (система) не предназначена работать в условиях случайного характера и выходов. Но все же иногда главные закономерности нарушаются, т.е. детерминированность системы вдруг не проявляется, и в самый нужный момент автомобиль не заводится, или еще хуже - отказывает рулевое управление. Поэтому такие варианты должны быть предусмотрены и исследованы. Для того, чтобы избежать названных случайностей, делают профилактические ремонты и техосмотры.

Рассматривая в этом же плане систему «лесхоз», видим, что основные закономерности, касающиеся изменений и неопределенностей в системе есть и здесь. Работники стареют. При долгой работе свыкаются с какими-то недостатками. Чтобы исправить погрешности в работе, иногда нужна «новая метла». Старение и выбытие (уход) кадров, а также их замену мы должны предусматривать и планировать при рассмотрении работы лесхоза на достаточно отдаленную перспективу. При этом иногда приходится менять целый «блок», например, директора, его заместителей и т. д.. Если дела идут плохо, то, чаще всего, именно новые люди значительно улучшают работу предприятия.

Иногда нужна не только замена людей, но и структурная перестройка. Это бывает, когда какая-то часть системы (или она вся) выработала свой ресурс и не может эффективно работать. Так, в

лесном хозяйстве России уже произошла замена больших блоков и модулей в системе управления отраслью. Исчезло Министерство лесного хозяйства, практически исчезают лесхозы. Фактически в России уже почти произошла (завершается) замена системы «лесное хозяйство» на другую при сохранении старого названия. Реакция лесной общественности на проведенную замену неоднозначна, а какова ее эффективность покажет будущее.

В лесхозе иногда надо укрупнить или, наоборот, разукрупнить лесничество, отдел, цех. Особенно часто такие смены происходят при проведении макроэкономических реформ. Например, в Литве после распада СССР изменилась вся структура управления лесной отраслью. Лесничества стали небольшими. Появилась система управления частными лесами и т.д.

Хотя система «лесхоз» не должна давать сбои в управлении, но в работе случается всякое: проявляется недисциплинированность, кто-то не в состоянии решить поставленные задачи и т. д. Потому должна быть (и есть) профилактика: проверки, ревизии, поощрения, наказания. Все это делается для того, чтобы система была надежной.

4. Следующий этап - это исследование функций и процессов в системе с целью управления ими. Сюда относится введение управления и процедур принятия решения и анализ управляющих воздействий как системы управления.

Для целенаправленных и других систем с управлением данная стадия имеет большое значение. Основные управляющие факторы рассмотрены были раньше, когда выявляли основные процессы в системе и происходящие в связи с этим изменения (см. 4.1., п. 3). Но там это носило характер общей информации о системе. Для эффективного введения или изучения их воздействий на функции системы и процессы в ней необходимо глубокое знание системы. Именно поэтому мы говорим об анализе управлений только сейчас, после всестороннего рассмотрения системы.

Вспомним, что управление может быть очень разнообразным по содержанию - от команд управляющего компьютера (где-то в производственном процессе или на технологической линии) до приказов министра. Возможность единообразного рассмотрения всех целенаправленных вмешательств в поведение системы позволяет говорить уже не об отдельных управленческих актах, а о системе управления, которая тесно переплетается с основной системой, но

четко выделяется в функциональном отношении.

На данной стадии выясняется где, когда и как (в каких точках системы, в какие моменты, в каких процессах, скачках, выборах из совокупности, логических переходах и т. д.) система управления воздействует на основную систему, насколько это эффективно, приемлемо и удобно реализуемо. При введении управлений в системе должны быть исследованы варианты перевода входов и постоянных параметров в управляемые, определены допустимые пределы управления и способ их реализации.

В качестве примера можем взять составление лесоустроительного проекта. Здесь система управления будет заключаться в подаче определенных управляющих сигналов (распоряжений) на разных этапах работы. В эту систему входит и первое техническое совещание и, особенно, первое лесоустроительное совещание, на котором принимаются ответственные решения о том как, каким образом и с какой детализацией будет проведено лесоустройство, какие нормативы будут использованы, схема деления лесхоза на составные части (лесничества, кварталы) и т. д. При проведении подготовительных работ к лесоустройству делается корректировка тех или иных действий и решений, если оказывается, что так будет лучше. Затем организуют полевые работы: назначается один или два начальника партий, подбираются исполнители, организуется база (табор), даются команды на закупку и завоз продуктов, инструментов, оборудования, документации и т. д. В процессе полевых работ ведется постоянный контроль за объемами и качеством работ со стороны начальника партии и руководства лесоустроительного предприятия, а также и по линии лесхоза. Оперативно принимаются и проводятся в жизнь управляющие решения: переделать низкокачественную работу, провести дополнительное обследование спорных объектов, добавить исполнителей, если лесоустроительная партия не укладывается в отведенные сроки, и т. д.

Эта же система управления функционирует и на стадии камеральных работ. Вверх (руководству предприятия) и в сторону (в «не систему», т.е. лесному хозяйству) постоянно идет информация о состоянии дел, и в соответствии с этой информацией принимаются решения. Так, в порядке вещей будет неоднократное согласование с ПЛХО и Министерством лесного хозяйства величины расчетной лесосеки и объемов других лесохозяйственных мероприятий.

Делается это обычно еще на этапе проектирования и утверждается вторым лесохозяйственным совещанием. Работа по согласованию продолжается, поднимаясь все выше по иерархической лестнице управления лесным хозяйством, вплоть до проведения экологической экспертизы органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды и утверждения проекта на научно-техническом совете Министерства лесного хозяйства.

Исследования (и публикации) по системному анализу выполнялись в основном математиками. Использование этой дисциплины пока в большей мере сосредоточено в таких науках как кибернетика, математика, физика, программирование, в последние годы - экономика. Поэтому наиболее часто в литературе мы находим примеры по разработке систем управления (подача управляющих сигналов) в сложных системах, реализуемых в компьютере и имеющих выход на некоторый внешний модуль, т. е. на внешнюю «не систему». Так, когда оператор (диспетчер) на пульте управления вводит данные об изменении условий функционирования системы (или они поступают в виде сигналов от датчиков), то программа включает соответствующий блок (модуль), и АСУ выдает соответствующий сигнал (электрический) станку с ЧПУ, линии; а также, звуковой (на динамик) или зрительный (на табло) и т.д. Пока именно такое применение системного анализа в формализованном виде находит наиболее широкое применение.

4.3. Моделирование системы как этап исследования

В настоящей работе мы подробно не касаемся вопросов моделирования, разработки моделей и т.д. По этой дисциплине на лесохозяйственном факультете есть специальный курс. Поэтому вопросы моделирования студенты старших курсов и специалисты-лесоводы знают, во всяком случае, должны знать. Известно, что моделирование в системном анализе занимает центральное место. Более того, системный анализ просто немыслим без моделирования.

Имеются различные определения моделей. В лесном хозяйстве наиболее употребляемой является формулировка, предлагаемая К.Е. Никитиным и А.З. Швиденко [], со ссылкой на В.А.Штоффа []. Модель определяется как мысленно представляемая или материально реализуемая система, которая, отображая или воспроизводя объект

исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте. В.А. Губанов, В.В. Захаров, и А.Н. Коваленко [] дают иное определение: "Модель - это формальное описание тех особенностей системы, которые существенны для целей исследования". Есть и другие формулировки моделей.

Модели бывают общие и конкретные. Есть модели с управлением, имитационные и т.д. Хотя подробно этот вопрос здесь не рассматривается, но надо отметить, что моделирование - это важный и специфический этап исследования сложных систем. О создании модели можно говорить только после полного изучения системы. Поэтому эту сторону системного анализа есть смысл рассмотреть, хотя бы в самом общем плане.

При введении совокупности моделей для описания системы опять повторяется ее рассмотрение с целью удобного анализа свойств сложной системы. С помощью моделей необходимо создать описание системы, пригодное для предсказания ее поведения и вывода неочевидных свойств. Надо четко осознать величину (уровень) огрубления и приближенности, которые несет в себе любая модель.

Моделирование сложных систем идет не сверху, то есть не от глобальной функции и выделения основных частей, а снизу с построения моделей для отдельных процессов, для простых модулей нижних иерархических уровней. Только потом на основе разумного усложнения моделей и перехода к их совокупностям моделируются все более крупные модули и, наконец, вся система в целом. Для последней может оказаться полезным и построение макромоделей. Следовательно, при моделировании в системном анализе предпочитают использовать индуктивный метод познания.

Например, надо сделать модельное описание древостоя. Сначала мы устанавливаем относительно простые связи: $H=f(D)$, т.е. зависимость между высотой и диаметром: $F=f(H)$ – связь формы ствола с высотой: $G,M=f(H,\Pi)$, т.е. величину суммы площадей сечения или запаса в зависимости от средней высоты и относительной полноты и др. Затем находим более сложные многомерные модели: например $F=f(H_1, q_2)$, $D=(A,B,\Pi)$, т.е. зависимость видового числа от средней высоты и второго коэффициента формы, а среднего диаметра от возраста древостоя, показателя условий произрастания и полноты и т.д. Первоначально эти и другие связи моделируем для отдельного дерева, а затем переходим к их совокупности - древостою, используя

различные специфические приемы: метод среднего дерева и т.д. Лишь после установления всех более простых связей проводим их обобщение, составляя таблицы хода роста, где все закономерности между таксационными показателями должны быть смоделированы и взаимосвязаны.

Часто анализ сложных систем проводят, используя и дедуктивные методы. Берут какую-то общую модель (общее положение, закон, закономерность) для последующего вывода из нее нужной конкретной модели. Такая процедура обычно включает упрощенное, эмпирическое или вполне обоснованное (теоретическое) уточнение вида функции и ее параметров т.е. коэффициентов. Близким к дедукции является моделирование по аналогии - используют как основу сходную систему или ситуацию. Хотя здесь есть опасность перенести свойства иной системы на рассматриваемую, но метод может быть очень полезен, если провести критический анализ модели, использованной как основа.

Примером дедуктивного подхода служит исследование динамики древостоев с применением общих закономерностей роста. Например, известно, что рост древостоев в высоту описывается некоторой S – образной кривой. Это значит, что в раннем возрасте древостой растет медленно, затем рост ускоряется, а в старом возрасте он замедляется вплоть до полного прекращения. Поэтому достаточно взять некоторую общую ростовую функцию, например уравнение В.Н. Дракина и Д.И. Вуевского, вида $y = a_0(1 - e^{-kA})^m$ и приспособить ее для описания хода роста древостоев конкретной породы в заданных условиях местопроизрастания.

В данном случае достоинства общих моделей состоят в том, что они отражают основные стадии роста большинства организмов: рост начинается в точке начала координат, затем идет его ускорение, а в конце жизни почти полное замедление, т.е. кривые имеют S – образный вид. Путем видоизменения приведенной формулы и подбора соответствующих коэффициентов схожими функциями описывают динамику высоты древостоя, его диаметра, запаса и т.д. Здесь мы, двигаясь от общих законов роста, переходим к описанию конкретного элемента системы, скажем, выражаем величину высоты древостоя от возраста, т.е. $H = f(A)$.

В лесном хозяйстве более широкое применение находят индуктивные модели, т.е. те общие законы и закономерности, которые

выведены из частных. К ним относятся как создание принципиально новых моделей, так и эмпирическое моделирование, т.е. когда без достаточных научно-теоретических обоснований получают формальное описание некоторого процесса по экспериментальным данным.

Примеров здесь более чем достаточно. В основном все уравнения, которые выводят студенты по своему эмпирическому материалу, собранному на практике по таксации, лесоводству и другим дисциплинам, относятся к этому классу моделей. Этими же типами моделей пользуются для описания районных особенностей хода работ, связи товарности древостоя с его диаметром и высотой и т.д.

Обобщение частных моделей и выведение на этой основе общих законов, закономерностей и описывающих их моделей встречается гораздо реже и, как правило, бывает серьезным научным достижением. Например, изучение особенностей динамики и продуктивности сосны и ели при совместном произрастании, проведенное в институте леса НАН Беларуси на материал более чем 600 пробных площадей в разных типах леса, позволило установить, что названные древесные виды при совместном произрастании имеют примерно одинаковую продуктивность в мшистом, черничном и кисличном типах лесах. Более интенсивный рост сосны, выражающийся в более высоком классе бонитета этой породы против ели, компенсируется у последней лучшей полндревесностью и густотой древостоя [1].

В моделировании сложных систем надо найти грань разумной достаточности. Часто не нужны чрезмерная точность и подробность, т.к. это связано с большими затратами. Излишне подробная и точная модель обычно бывает неустойчивой. Она хорошо выражает конкретные особенности и изменения исходного материала, но далеко не всегда отражает общие закономерности. С другой стороны слишком простая модель не опишет существенные качественные особенности системы и приведет к неверным выводам.

Например, парабола второго порядка $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ оказывается слишком «жесткой» для отражения связи $H=f(D)$. Она обычно занижает значения функции в начале и завышает их в конце ряда [1]. Но и полиномы слишком высоких степеней, например $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 + a_6x^6$, очень хорошо описывая

конкретный экспериментальный материал, не пригодны для корректного моделирования. Их вывод требует избыточных усилий по реализации, особенно в части проведения дополнительных замеров (это не столь важно, хотя надо учитывать), а, главное, они не будут отражать общие закономерности. Разумная грань лежит где-то посередине и выражается полиномами 3, иногда 4 порядка.

4.4. Сопровождение системы

Созданием системы не оканчиваются работы по ее совершенствованию. Она должна пройти опытную проверку в процессе эксплуатации. На этой стадии может быть выявлено несоответствие между ожидаемым поведением системы и результатами ее функционирования. В этом случае требуется вносить изменения. Надо заново проанализировать структуру и иерархию сложной системы, достаточность и верность связей между ними. Только опыт выявляет слабые и сильные стороны системы.

Например, при конструировании машин, например, уже ранее упомянутой лесопосадочной автоматической машины – ИЛАНА, только воплощение ее в металле и испытание на полигоне позволили устранить все погрешности конструкции и изготовления. Поэтому в подобных случаях предусматривается, чтобы были выполнены большие объемы испытательных работ до принятия решения о серийном производстве машины.

В нашем примере по конструированию автоматической лесопосадочной машины ИЛАНА были проведены предварительные, затем хозяйственные, затем ведомственные и, наконец, государственные испытания. При их проведении необходимо посадить большую площадь лесных культур. Для лесопосадочных машин критерием объема служит погонаж пройденного расстояния во время посадки. Это затягивает сроки ввода машины в работу, но является гарантией качества изделия. Поэтому упомянутая лесопосадочная машина доводилась более 10 лет, хотя этот срок следует считать слишком долгим.

Еще большие сроки испытаний и доводки требуются для разработки методов лечения больных и внедрения новых лекарственных препаратов, т.к. это связано со здоровьем и жизнью людей.

В процессе эксплуатации каждая система должна быть испытана на ее пограничные возможности. Этим мы получим информацию о работоспособности системы, ее потенциале, ресурсах, возможных отказах, выходах из строя, незапланированных режимах, катастрофах. Все проверки выполняют непосредственно или тестированием.

Общеизвестно, что двигатель новой конструкции "гоняют" на стенде до отказа. Новые автомобили испытывают на специальных неровных дорогах и даже разбивают. До полного износа проверяют новые бензопилы и т.д.

Недостаточная проверка, не полностью установленные пределы возможного в очень сложной системе приводят к страшным последствиям. Пример: катастрофа на Чернобыльской АЭС, Она явилась следствием многих причин, но одной из главных явились недостатки конструкции, которая не была должным образом проверена на ее предельные возможности, и не обеспечивала защиту от нерегламентированных действий персонала, которую в практике именуют «защита от дурака».

Важным моментом при эксплуатации сложных систем является расширение ее функций. Эта необходимость обычно возникает при изменении круга задач, появлении новых условий работы, что требует расширения функций системы. Иногда новые условия требуют функции системы сократить в целях экономичности.

Так, первоначально лесопосадочная машина ИЛАНА предназначалась для работы только на сельскохозяйственных землях, переданных для облесения из-за высокой плотности радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС. Но в процессе опытной эксплуатации выяснилось, что возможности машины можно расширить, и она с успехом стала работать на нераскорчеванных вырубках.

Если какой-то трактор (скажем К-750, Т-150, МТЗ-82) нам нужен только как транспортный тягач (при работе геологической экспедиции в пустыне, тундре), то целесообразно не ставить на него гидравлическую навеску для прикрепления почвообрабатывающих орудий, т.е. функцию системы можно сократить для экономичности.

Итак, на этой стадии работы со сложной системой речь идет о частичной перестройке функционирования (назначения) системы или изменения задач ее исследования. При этом большая часть знаний о системе остается нужной. Поэтому нет смысла относиться к

усовершенствованной системе как совершенно новой. Как и при моделировании по аналогии, здесь полезно улучшать некоторый ранее созданный образец, экономя на этом средства, силы и время. Именно так и поступили конструкторы Института леса НАН Беларуси, совершенствуя лесопосадочную машину «ИЛАНА».

Включение системы элементом в некоторую макросистему требует пересмотра основных ее связей с «не системой». Здесь надо обратить особое внимание на все существенные связи с внешней средой. Примером такого включения в макросистему является подключение областной энергосистемы к общегосударственной. В этом же плане можно рассматривать подключение Беларуси к единой информационной (или транспортной) сети Россия - Беларусь и т.д.

Иногда выдвижение требований к системе со стороны макросистемы может привести к необходимости пересмотра всех основных системных понятий (выходы, управление и т.д.) и тем самым затронуть все стадии исследования системы.

Например, объединение таможенного пространства Беларуси и России привело к значительной перестройке таможенных правил (унификации) как в Беларуси, так и в России.

На этом можно закончить описание методики исследования сложных систем. Но эта методика пригодна и к созданию новых систем.

4.5. Особенности создания новой системы

Создание новых систем делится на стадии проектирования (предварительного, детального), собственно создания и эксплуатации. Последнее делится на: опытную, опытно-производственную, производственную.

Проектирование обычно идет от продумывания глобальной цели вниз к проектированию элементов системы. Создание сложной системы начинается с подгонки друг к другу простейших элементов. Далее идет согласование работы модулей все более высоких иерархических уровней, и, наконец, обеспечение всей системы целиком.

Для примера возьмем создание газопровода. Сначала (на стадии проектирования) продумывают откуда он берет начало и куда следует. Рассчитывают его пропускную способность, места расположения и

мощность станций поддержания давления и т.д. Строительство начинают сваркой труб (элементов системы), укладкой их, затем согласовывают работу больших участков и т.д., вплоть до полного функционирования газопровода.

Подобным образом поступают и в лесном хозяйстве. Например, проектирование и создание нового базового лесного питомника начинается с определения потребности в посадочном материале для лесхоза или группы лесхозов. Затем выбирают оптимальный район размещения питомника и определяют его величину, придерживаясь принципа минимизации затрат на выращивание 1000 штук семян и их перевозку. Только после этого находят конкретное место под питомник, исходя из почвенно-грунтовых и иных природных и экономических соображений. Затем разрабатывают проект и выполняют все необходимые остальные работы: раскорчевку площади, организацию территории, строительство водных резервуаров, компостников, вспомогательных сооружений, закупку и завоз оборудования и т.д.

Конечно, приведенная схема очень огрублена, в реальной практике все бывает сложнее и труднее, но в любом случае изложенных принципов придерживаются все разработчики новых систем.

Глава 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ И РЕШЕНИЙ

Все ранее рассмотренное относится к методологии системного анализа в его широком смысле. Теперь рассмотрим некоторые вопросы системного анализа в более узком смысле. К таким вопросам относится организация самого процесса изучения сложных задач и принятие правильных решений.

5.1. Процедуры и операции

Для уяснения возникающих здесь вопросов необходимо ввести несколько новых понятий.

Первое из них назовем процедурой, понимая под ней элементарные акты, на которые можно разделить процесс решения задач системного анализа.

Процедуры при решении задач системного анализа связаны

между собой. Они имеют некоторый свой порядок выполнения. Начало и окончание процедуры подчиняются определенным правилам. В процессе процедуры передается та или иная информация.

Исполнение совокупности процедур приводит к тому, к чему отдельно взятая процедура привести не может - к решению требуемой задачи.

Поэтому там, где элементами выступают процедуры, можно говорить о наличии всех признаков системы. В этом случае процесс решения задачи следует рассматривать как некоторую систему процедур, обладающих внутренней организацией, структурой, иерархией, управлением. Эта система относится к классу целенаправленных систем, где цель - решение поставленной задачи.

В системе процедур модулем будет группа процедур, обладающая цельностью и относительной независимостью. Такую группу процедур называют термином «операция».

Операция всегда состоит из отдельных процедур, но как и модуль, может состоять из операций более низкого уровня. Такая иерархия (разномасштабность) понятия операции, которая на практике может достигать трех-четырех уровней, как правило, не вызывает неудобств, а позволяет сосредоточить внимание то на единстве, то на делимости рассматриваемой совокупности.

Например, поступление древесины в хлыстах на нижний склад делится на операции: валка деревьев, обрубка сучьев, трелевка, погрузка на лесовоз, транспортировка, разгрузка. Если нет необходимости вникать в каждую из этих работ более глубоко, то они для нас будут процедурами. Если же надо более детально разобрать из чего состоит, скажем, трелевка, то она в нашем исследовании будет операцией. Процедурами в этом случае выступают подъезд трелевочного трактора к хлысту или бревну, чокеровка (или челюстной захват), транспортировка хлыстов или бревен, укладка в штабель.

На приведенном примере видно, что некоторый акт можно рассматривать как элементарный, но он может заменяться и более специализированным. Для случая древовидной иерархии в процессе решения задачи (это имеет место далеко не всегда) деление на процедуры и операции можно изобразить рисунком (рис. 5.1.).

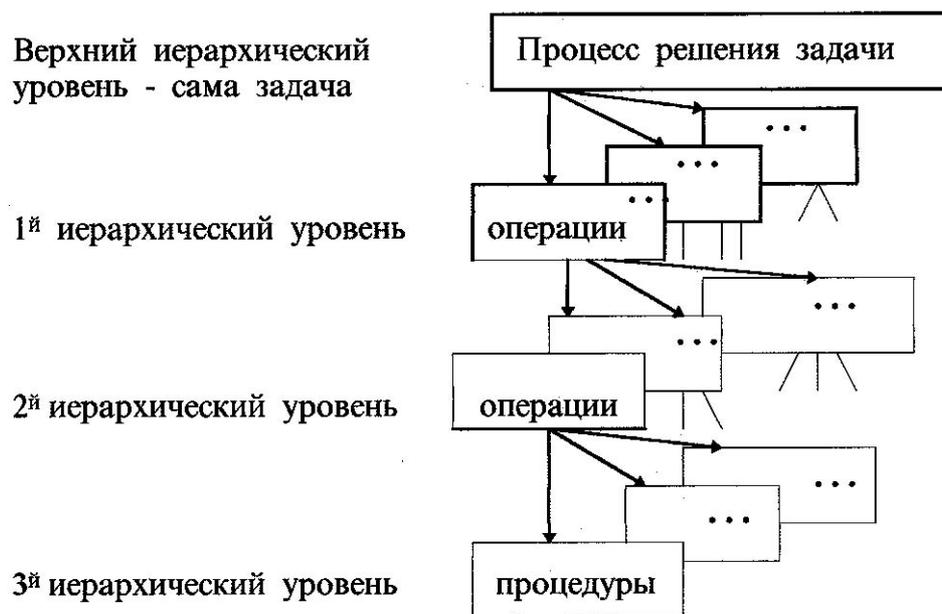


Рис. 5.1. Деление задачи на операции и процедуры

Сказанное выше поясним следующим примером. Для этого проанализируем организацию работы научной экспедиции по сбору экспериментального материала для составления таблиц хода роста. В том случае, когда нет необходимости отличать друг от друга процедуру и операцию, будем использовать для них единый термин - «действие». Процесс решения задачи при этом представляет собой систему действий. Их мы и станем изучать. Организацию работы названной экспедиции представим в виде схемы (рис. 5.2.).

На рис. 5.2., где показана организация работы научной экспедиции для сбора полевого материала при составлении таблиц хода роста, достаточно трудно разделить между собой операции и процедуры. Поэтому здесь единый термин «действие» наиболее удобен и практичен в употреблении. Система последовательных, параллельных и иных действий является в данном конкретном примере процессом решения поставленной задачи и позволяет получить нужный результат.

В соответствии с общим видом системы, который мы рассматривали ранее (формула 2.1., напомним ее - $\Sigma: \{\{M\}, \{x\}, F\}$), организация процесса решения задачи формально может быть записана

$$R: \{\{M\}, \{x\}, F\}, \quad (5.1.)$$

где $\{M\}$ - множество действий по решению задачи;
 $\{x\}$ - множество связей между действиями;
 F - формулировка поставленной задачи т.е. ее цель.

Приведенная кортежная запись (5.1) обладает всеми особенностями записи произвольной системы. Она условна в том смысле, что способы описания цели, действий и связей, их принадлежность к определенным классам должны быть конкретизированы отдельно. В самом общем виде с составляющими кортежами $\{M\}$ и $\{x\}$ возможны лишь те операции, которые допустимы с множествами произвольной природы, например, дополнение, разделение, пересечение и др.

В уравнении (5.1.) элемент M определен как действие, а не как простейший акт решения - процедура. Это сделано для большей вариативности формальной записи. Так, если $\{M\}$ - это операция верхнего иерархического уровня, то уравнение (5.1.) представляет собой вполне обозримую, хотя и грубую схему решения задачи. Если же $\{M\}$ - это все процедуры в решении, то для сложной задачи расшифровка всех элементов M и X может быть весьма объемной и сложной.

В настоящем пособии приведены примеры с довольно простыми схемами. Это связано с желанием не давать сложных математических описаний, трудных для усвоения будущими лесоводами. Сложные схемы, связанные с математическими преобразованиями высокого уровня, реализуют специалисты, имеющие специальную университетскую подготовку, где курс системного анализа и его математическое обеспечение изучают гораздо больше времени.

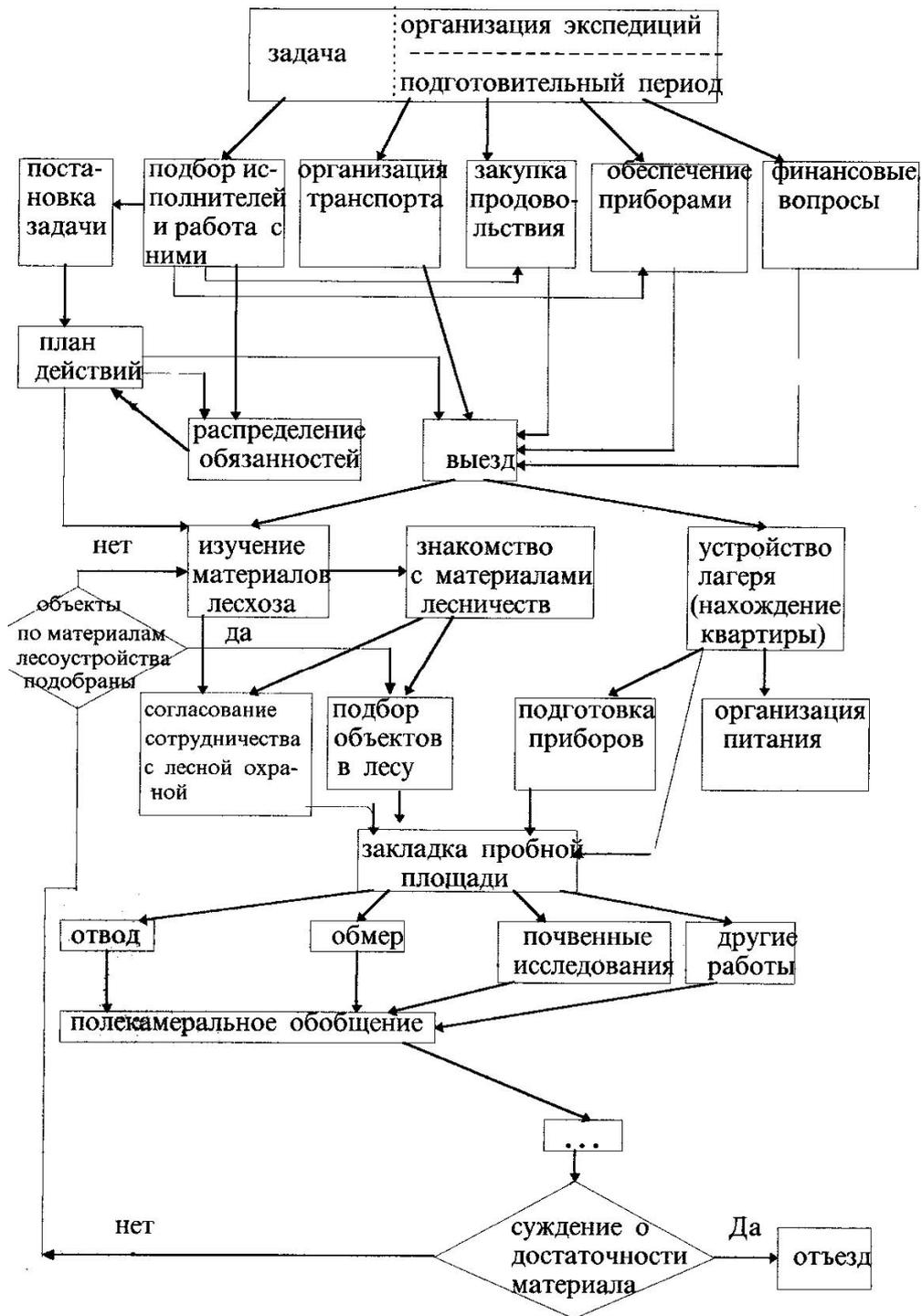


Рис. 5.2. Иерархическое деление задачи по организации работы научной экспедиции по сбору экспериментального материала для составления таблиц хода роста древостоев.

Для лучшего представления о сложности некоторых систем и встречающихся трудностях при решении вытекающих отсюда задач приведем ряд примеров. Если требуется подробно описать (передать, тиражировать) способ решения особо сложной задачи, то объемы информации могут приобретать громадную величину. Так, документация на стандартизированное описание даже среднего по сложности программного средства может занимать до сотни страниц текста и обозначений. Документация, связанная с описанием всех процедур по строительству самолета или ракеты, достигает веса в десятки тонн бумаги, а число страниц трудно и подсчитать столь велика эта величина. По весьма примерным расчетам ее порядок составит около 1-2 млн. страниц.

5.2. Действия. Основные характеристики действий

В сложной системе кроме понятий процедуры и операции употребляются и другие термины. Так, большой комплекс действий, приводящий к выполнению какой-то важной части решения задачи, называют «направлением работ». Для деления действий во времени употребляют термины «стадия» и «этап».

Все же основным системным понятием при исследовании действий и решений остается термин «операция». Разложение процесса решения только на направления работ или стадии и этапы обычно еще недостаточное углубление в суть задачи.

Разберем основные характеристики действий.

Любое действие имеет три основные характеристики:

1. Цель действия.
2. Описание действия.
3. Способ выполнения действия.

К каждой характеристике можно поставить вопрос.

Цель (назначение) в зависимости от ситуации удобно обозначить вопросом «Зачем?» или «Что должно быть?», т.е. каков результат действия.

Описание действия или представление о его осуществлении обозначим вопросом «Что делать?».

Способ выполнения действия, т.е. умение и возможность выполнить его, можем преобразовать в вопрос «Как делать?».

Коротко эти вопросы - характеристики будут звучать так: «Зачем?», «Что?», «Как?».

Например, нам надо дать характеристику действия по созданию лесных культур на вырубке в условиях местопроизрастания А₂₋₃ или В₂₋₃.

Первое: цель - «Зачем?». Ясно, что здесь последует однозначный ответ - для восстановления вырубленного леса.

Второе: описание действия - «Что?». Ответ: лесные культуры сосны в смеси с березой, состав 8С2Б, смешение кулисами 8 рядов С и 2 ряда Б. В приведенных условиях местопроизрастания допустимо создание и чистых сосновых культур, но смешанный состав предпочтительней.

Третье: способ выполнения - «Как?». Здесь возможны разные варианты ответа на поставленный вопрос. Лучшим вариантом будет посадка в плужные борозды 1-2 летних сеянцев с помощью лесопосадочной машины ИЛАНА. Размещение сеянцев 2,0 м × 0,7 (густота 7,1 тыс. шт/га). Посадку можно сделать как вручную, так и разными лесопосадочными машинами, но ИЛАНой быстрее, дешевле и качественнее.

При продумывании решения задачи обычно используются три способа организации отдельных действий, которые удобно связать с ответами на поставленные вопросы. Это можно изобразить на схеме.



Рис. 5.3. Типовые приемы организации действий.

Случай «а» отражает ситуацию, когда вопросы «Зачем?» и «Что делать?» рассматриваются исследователем совместно. В позиции «б» мы отталкиваемся от того, что вообще (в принципе) можно делать. Третий вариант является наиболее строгим с точки зрения формальной логики.

Приведенные вопросы, хотя и являются основными, но не исчерпывают всех аспектов организации действий. Ее

дополнительные стороны охватываются другими вопросами, среди которых преобладают «Удобно ли (технологично) выполнение данного действия?»; «Выгодно ли это действие с экономической точки зрения?»; «Каковы вторичные и неочевидные последствия данного действия?». В условиях лесного хозяйства здесь обычно имеют в виду экологические и социальные последствия.

Следующими дополнительными вопросами при организации действий могут быть «Где будут выполняться действия?»; «Когда?»; «Кем?» и т.д.

Исследование вопросов «Зачем?», «Что?», «Как?» - это типовой и универсальный путь рассмотрения действия. Правда, есть несколько достаточно распространенных исключений, когда можно избегать или не интересоваться ответами на один или даже два из трех главных вопросов. Все эти ситуации оказываются крайними, особыми. Их рассмотрение лишней раз убеждает, что продумывание ответов на все три стандартные вопросы; «Зачем?», «Что?», «Как?» ведет к уверенности в правильной организации действий.

Первое исключение - это ограничение только вопросами типа «Как?». Таким способом можно решать задачи по инструкции, которая не допускает отклонений. Если имеется точное описание действий и мы уверены, что оно подходит для решения данной задачи, то при исполнении отдельных действий можно не понимать ни что делается, ни зачем. Так, можно по методическому описанию поставить программу на компьютер, вставить в нее управляющие регламентные работы. Можно по подробной описи провести какую-то химическую реакцию. Сюда же относится действие часового на боевом посту. В лесном хозяйстве действия такого рода в 16-19 веках выражались в инструкции леснику: «Стращать и не пущать!».

Действия, подобные вышеназванным, несовместимы с исследовательским, творческим подходом к решению задачи. Они не годятся при встрече с новыми или нестандартными проблемами. Работа строго по инструкции удобна только внутри жестко фиксированных и весьма детализированных ограничений. Их использование приводит к экономии усилий и времени в ситуациях, когда нет необходимости в понимании выполняемых процедур.

Второй случай - это организация действий на основе перебора вариантов, пренебрежение вопросом «Зачем?». Примеры: случайные действия по обнаружению неисправности в телевизоре (пока не

найдем): поменяем одну микросхему - все по-прежнему; вторую..., третью... Так обычно поступают любители при ремонте своего аппарата. Иногда так поступают неопытные люди, заблудившиеся в лесу: вопреки правилам техники безопасности (сиди и жди помощи) они мечутся в разные стороны. При относительно простых ситуациях результат бывает положительным, т.е. в конце -концов заблудившийся выходит к людям, но в сложных случаях (тайга, горы) последствия непредсказуемы и часто печальны.

Из сказанного вытекает вывод, что грамотные специалисты избегают этого метода решения задач. Поставить вопрос «Зачем?» и ответить на него полезно всегда.

Другой пример: надо узнать, насколько хорошо будут покупать продукцию хозрасчетного цеха лесхоза за рубежом, допустим, в Германии. Предположим, что такой продукцией будут ягоды в сахаре: клюква, черника, малина. Чтобы не понести убытки, лесхоз отправит сначала малые партии, примерно по 100 банок. Если клюкву покупают хорошо, чернику умеренно, а малину совсем не берут, то следует вывод, что надо отправить большую партию клюквы, среднюю - черники, а малину не посылать. Так методом перебора изучают спрос на рынке.

На практике вышеописанный способ выбора действия используется, когда перебор относительно невелик. Поэтому он оказывается более дешевый и удобный, чем исследование ответов на вопрос «Зачем?». Им пользуются и тогда, когда ответа на этот вопрос дать не удастся.

Например, нам предложили купить 4 бензопилы. Использовать их мы намерены и на рубках главного пользования, и на рубках промежуточного пользования. Допустим, что это будут пилы «Урал», «Штиль», «Хускварна» и «Соло». Каждая имеет свои достоинства и недостатки: большая мощность нужна для валки толстых деревьев, но избыточна для средних и мелких. Российские пилы хуже в эксплуатации, но дешевле западных. Рассматриваем условия эксплуатации и ремонта названных бензопил. В этом случае выбор можно сделать путем практического использования каждой из них, т.е. путем перебора.

Надо иметь в виду, что выбор действия (решения) перебором обычно присутствует в любом исследовании, проводимом человеком: мы что-то пробуем и так, и этак, выбираем... Даже в выборе спутника

жизни (жены, мужа) можно найти элементы перебора. По-видимому, перебор типичен для человеческих действий вообще. Но его возможности всегда резко идут на убыль с ростом сложности задачи.

Третий вариант неполного списка наших вопросов - это пренебрежение анализом того, реализуемо ли данное действие на практике, т.е. пренебрежение вопросом «Как?». Такие действия и их совокупности называются абстрактной схемой, неконструктивным подходом, оторванным от практики или схоластическим решением. Прежде всего, сюда относятся действия высокого уровня общности, в которых ответы на вопрос «Как?» исследуются дополнительно уже для данной конкретной задачи.

Характернейшим примером подобной постановки задачи, когда практически пренебрегли третьим принципом в характеристике действий, т.е. не оценили способ выполнения действий, реализуемо ли оно на практике, является программа построения коммунизма к 1980 г., принятая в СССР в 1961 году; программа обеспечения жильем всех граждан к 2000 году в СССР (принималась во время правления Горбачева) и др.

К действиям без «Как?» относятся и те, которые в настоящий момент никто не знает как выполнять - нет соответствующих материалов, технологий, не позволяют возможности компьютеров, нет данных и т.д. Например, многие мечтают об управляемых полетах за пределы Солнечной системы - к звездам. Но сегодня совершенно не ясно можно ли эти полеты осуществить даже в принципе. Поэтому все рассуждения на тему межзвездных путешествий ограничиваются обсуждением вопросов «Зачем?», в лучшем случае «Что делать», а третий вопрос не обсуждается вообще, разве что писателями-фантастами.

Среди задач подобного рода в лесном хозяйстве можно назвать повышение продуктивности лесов таежной зоны в несколько раз, значительное ускорение там же выращивания крупномерной древесины. Ответ на вопрос «Зачем?» здесь очевиден. Можно обсуждать вопрос «Что делать?». Кстати, такое широкомасштабное обсуждение состоялось в начале 70-х годов прошлого века. Были высказаны многие очень оригинальные предложения. Так, известный ученый проф. А.В. Тюрин писал о желательности понизить уровень вечной мерзлоты, что автоматически привело бы к решению обоих вышеназванных задач. Но вопрос «как это сделать» не обсуждался,

так как ни экономические, ни технические и технологические возможности не позволяли и не позволяют до сих пор провести широкомасштабные работы по решению перечисленных важных проблем.

В том случае, если неизвестно как решать задачу, а решение все же требуется (есть задачи намного актуальнее полетов к звездам и снижения уровня вечной мерзлоты), то поиск решения осуществляется путем набора действий, заменяющих данные действия или изменением (как правило, упрощением) задачи.

Например, нам надо исследовать сложную систему тропического леса. Но нет всех данных о растительности, почве, почвенной энзимофауне, животном мире, потоках вещества и энергии. К тому же нет набора моделей, чтобы все адекватно описать. В этом случае, хотим мы того или нет, необходимо упростить задачу и описать объект исследования в более грубом приближении. Это может быть характеристика одного древостоя или лишь его главных пород. Дополнительно можно исследовать почву и т.п.

5.3. Локальные цели

Нарисуем наиболее распространенную схему организации действий по решению типичной задачи системного анализа (рис.5.4.).



Рис. 5.4. Типичная система действий по организации решения задачи системного анализа

На рис. 5.4. видны три уровня организации решения.

Вспомним, что нечто подобное мы уже рисовали, когда рассматривали способы организации действий - рис.5.3. схема «в».

Ту схему (рис. 5.3. «в») мы признали наиболее строгой с точки зрения формальной логики.

На рис. 5.4. видно, что некоторая глобальная задача разбивается на локальные цели (стрелка сверху). Здесь же описывается вариант организации системы действий по решению локальной задачи.

Следует обратить внимание, что первая и вторая ячейки на схеме названы системами. Это сделано потому, что ответы на вопрос «Что должно быть?» связаны друг с другом и только в совокупности определяют путь решения задачи. То же можно сказать и про ответы на вопрос «Что делать?».

Нижняя ячейка не является системой, так как ответы на вопрос «Как?» не обладают внутренними связями. Замена одного способа выполнения действий другими не приводит к каким-то изменениям в решении задачи, в то время как замена ответа на вопрос «Что?» или «Зачем?» влечет изменение и других действий и целей.

Например, надо обеспечить процесс лесовозобновления на вырубках. Его мы рассматриваем как локальную цель системы непрерывного и неистощительного лесопользования - стрелка сверху. Цель действия представляет собой систему взаимоувязанных задач: для обеспечения прироста древесины, для сохранения биологического разнообразия, для сохранения экологических полезностей и т.д.

Описание следующей характеристики - ответ на вопрос «Что делать?» тоже взаимозависимы: сбор семян, выращивание посадочного материала, посадка лесных культур и т.д. Все эти действия зависят друг от друга, вытекают одно из другого. Так, если не собрать семена, то не сможем вырастить посадочный материал и т.д. Если что-то здесь заменить или опустить, то потребуются уже другие действия для решения задачи. Допустим, что опустили выращивание посадочного материала. Тогда для решения задачи потребуются выкопка дичков или покупка сеянцев на стороне.

Ответы на вопрос «Как?» могут быть разные. Мы можем собрать семена из растущих или со срубленных деревьев, а то и просто их купить - каждое из этих действий будет независимым, но приводящим к цели - имеем семена. Дальнейшее действие в решении задачи при ответе на вопрос «Как?» тоже могут варьировать. Питомник можно засеять вручную или механизировано - это действия разные, они могут быть не связаны между собой, важно вырастить сеянцы и т.д.

Система локальных целей в определенной мере может быть

оторвана от всего процесса решения задачи и рассмотрена отдельно. Работа с системой локальных целей как первая ступень решения задачи широко применяется на практике. Термин «целеопределение» используется при проектировании сложных технических объектов, в экономике, экологии и др. Типичный пример выделения локальных целей был нами рассмотрен при целеопределении в проекте создания лесопосадочной машины.

При разработке системы локальных целей для облегчения дальнейшего решения задачи полезно в общих чертах прикидывать ответы на вопросы «Что делать для достижения целей», «Как это делать». Однако в сложной системе это позволит лишь значительно уменьшить (но не исключить вообще) необходимость доработки, коррекции системы локальных целей после перехода к следующей стадии - описанию действий.

Может оказаться, что требуемые действия длительны, дорогостоящи, неудобны с других точек зрения. Иногда, как крайний случай, локальная цель окажется невыполнимой. Из этого следует, что окончательная доводка системы локальных целей достигается только после рассмотрения ответов и на вопросы «Что делать?», «Как сделать?», а условный отрыв целей от задачи есть не более, чем первая, предварительная стадия решения.

Приведем пример. Возьмем ранее уже рассмотренную систему - организацию непрерывного и неистощительного лесопользования. Здесь полезно в общих чертах прикинуть «Что делать для достижения цели вообще?» и «Как это сделать?». Для решения задачи в первую очередь оценим возможности и методы различных видов рубок, объемы главного пользования в разные годы, способы возобновления, организацию охраны и защиты леса и т.д. Это позволит уточнить конкретные задачи, т.е. сузить количество локальных целей. В качестве примера допустим, что мы для какой-то категории насаждений решили не проводить искусственное лесовозобновление или не вести рубки ухода. Но все описанные действия не исключают необходимости в разработке системы локальных целей для рубок главного пользования.

Понятие локальной цели будем относить и к операциям, и к отдельным процедурам. Для операций, особенно высокого уровня общности, будем говорить о цели операции, а термин «глобальная цель» оставим только за решением всей задачи целиком.

Выделим совокупность локальных целей $\{g_j^s\}$, обеспечивающих выполнение цели G_j операции J :

$$\{g_j^s\} \rightarrow G, S = 1, 2, \dots, n \quad (5.2.)$$

Данная запись означает лишь достаточность выполнения совокупности локальных целей $\{g_j^s\}$ для осуществления цели G_j . Может существовать и другая совокупность локальных целей, приводящих к выполнению той же цели G_j . Основной смысл записи (5.2.) состоит в том, что можно не принимать во внимание цель G_j и выполнять более простые цели $g_j^1, g_j^2, \dots, g_j^n$.

Приведем пример. Возьмем опять задачу составления лесоустроительного проекта. Она разбивается на следующие локальные цели: 1) подготовительные работы к лесоустройству; 2) полевые работы; 3) обработка полевых материалов на компьютере; 4) организация территории устраиваемого объекта; 5) расчеты лесопользования: главное, промежуточное; 6) анализ прошлого хозяйства в лесхозе и т.д. Сюда же входят разные согласования и увязки: с земельным балансом, с заказчиком и др.

Каждая из первых двух целей будет направлением работ. Вспомним, что это определение дано при рассмотрении процедур и операций. Оно сформировано как большой комплекс действий, приводящий к выполнению обособленной важной части всего решения задачи. Направления работ в свою очередь разбиваются на отдельные локальные цели для операций и групп операций. Так, подготовительные работы можем разделить на сбор информации, согласования, проведение натурных работ. В состав последних входит прорубка и расчистка квартальных просек, установление границ, и т.п.

На практике есть гораздо более развитые и детализированные схемы выделения целей, чем показанные в вышеприведенном примере. Такие схемы значительно облегчают решение новых задач. Это особенно ощутимо, если схема учитывает специфику работы, т.е. носит типовой характер для отрасли, научного направления, выпускаемых изделий и т.д.

Наиболее часто формальную схему строят при разработке различных АСУ, АСУП, САПР, при конструировании новых машин, механизмов, при описании технологии строительных работ и т.д.

В лесном хозяйстве сложные управленческие задачи формализуют по всем правилам системного анализа реже, хотя его принципов, как правило, придерживаются. Тот же лесоустроительный

проект разрабатывается по весьма детально составленной лесоустроительной инструкции, представляющей хорошую продуманную систему.

Систему локальных целей принято создавать сверху, с введения набора целей 1-го иерархического уровня. Декомпозиция целей (вспомним, что так называется деление системы на части, удобные для каких-то операций со сложной системой) должна сопровождаться их согласованием, чтобы выполненные все вместе они привели к достижению глобальной цели.

5.4. Связи между локальными целями

В общем случае структура связей между локальными целями имеет произвольный характер. Как крайние ситуации назовем несколько вариантов:

1. *Выполнение любой цели связано с выполнением каждой из остальных.* При этом предполагается отсутствие иерархии.

2. *Полная независимость достижения локальных целей: каждая цель выполняется самостоятельно.* Их связь друг с другом проявляется лишь в том, что выполненные все вместе они решают поставленную задачу.

Сказанное поясним примерами. Первый случай можно наблюдать при организации технологического процесса по выпуску мебели. Выполнение некоторой локальной цели (допустим, что это сборка мебели) зависит от реализации предыдущих: от выпуска мебельных заготовок, доставки их в цех сборки и т.п.

Второй случай видим в работе лесоустроительной партии, проводящей полевые работы. Выполнение локальных целей каждым инженером-таксатором (лесоинвентаризационные работы в отдельных лесничествах) осуществляется самостоятельно и не зависит от работы соседа, но вместе они решают общую задачу.

Простейших и одновременно основных типов связей между целями всего три. Поясним это на примере деления цели операции на две локальные цели, т.е.

$$\{g^1, g^2\} \rightarrow G_j \quad (5.3.)$$

Индекс j у локальных целей для простоты опущен.

При этом возможны следующие варианты.

1. *Последовательное выполнение* - только достижение одной из

целей дает возможность выполнить другую. Например, только собрав или купив семена, мы можем посеять питомник. Только после того, как вырастили сеянцы - посадить лесные культуры и т.д.

2. *Параллельное выполнение* - цели могут выполняться независимо. Так, для достижения цели лесовыращивания в пределах лесхоза в разных местах (в отдельных лесничествах) независимо друг от друга выполняются посадки, проводятся все или только отдельные виды рубок ухода за лесом.

3. *Циклическое выполнение* - частичное выполнение одной из целей обеспечивает частичное выполнение другой, что в свою очередь позволяет вернуться к выполнению первой, и так до полной реализации обеих целей.

Здесь наиболее типичным примером является организация цикла при составлении компьютерной программы. В этом случае программист ставит две локальные цели: перебрать все параметры цикла (цель g^1) и выполнить для каждого параметра определенные действия (g^2).

Допустим, надо рассчитать значения высот для всех величин диаметров в промежутке от 8 до 40 см с интервалом в 2 см. Дано, что связь $H=f(D)$ выражается уравнением:

$$H=a_0+a_1D+a_2D^2+a_3D^3 \quad (5.4.).$$

Для решения приведенного уравнения надо организовать цикл. Он заключается в том, что мы последовательно перебираем все значения аргумента. В начале берем $D_1=8$ см и находим H_1 по уравнению (5.4.), т.е. определяем H для аргумента, равного 8 см. Результат выдаем на печать, дисплей или заносим в память. Затем возвращаемся к следующему значению $D_2=10$ см и повторяем всю процедуру сначала, т.е. аналогичным образом вычисляем H_2 . Повторение происходит пока не решим задачу, т.е. найдем H_n , для последнего аргумента, т.е. для $D_n=40$ см.

Циклическое выполнение целей многообразно. По этой схеме, как правило, строится управление производством, требующее постоянной выработки команд: цель g^1 - определение управляющего воздействия, цель g^2 - исполнение этого воздействия.

Например, процесс обучения студентов преследует две циклические цели - усвоение знаний и сдачу зачетов. Без реализации цели g^1 (усвоение знаний) не может быть решена цель g - (зачеты), но дальнейшее решение задачи g^1 (усвоение знаний) зависит от того, сдан

ли зачет, т.е. выполнена ли цель g^2 , т.к. иначе неуспевающего студента отчислят и усвоение им знаний на том окончится. Обе цели решают глобальную цель - подготовку специалиста в определенной области, а, если грубее, то получение диплома.

Покажем типы связей между целями на схеме (рис.5.5.).

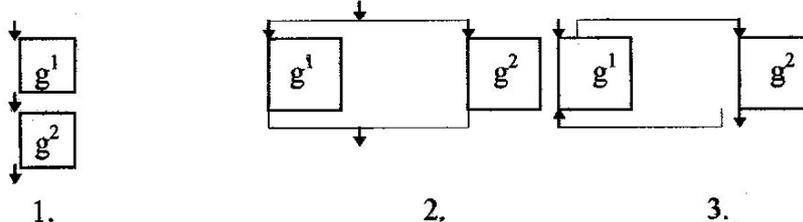


Рис. 5.5. Способы достижения двух целей.

На рис. 5.5. цели будут: 1) связанными; 2) несвязанными; 3) сложно связанными. Последнее с точки зрения кибернетики является примером системы с обратной связью.

Способ достижения каждой из целей g^1 и g^2 в отдельности может быть дискретным (порциями, скачками) и непрерывным. В первом случае вышеприведенную схему (рис.5.5. 1.) называют итеративной, а каждый переход от цели g^1 и g^2 и обратно - итерацией, шагом, циклом.

Для более чем двух локальных целей связь между ними будет комбинированием приведенных выше типов. Изобразим на схеме примеры некоторых из них для случая трех локальных целей (рис.5.6).

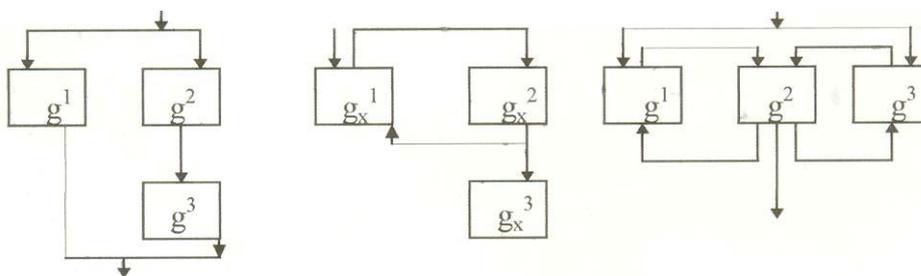


Рис. 5.6. Способы достижения трех целей.

Есть ряд ярких примеров теоретического и практического использования знаний о последовательном и параллельном способах выполнения целей. Их часто используют в прессе, чтобы показать, что решение некоторой задачи должно созреть. Другие примеры применяют в качестве математических шуток.

Довольно распространенным является следующий пример. Для того, чтобы родить ребенка, женщина должна выносить его 9 месяцев. Ясно, что 9 женщин не смогут ускорить этот процесс до 1 месяца.

Другой пример - из области математических шуток. Четверо

рабочих могут собрать щитовой домик 4×5 м за 10 часов. За сколько соберут его 400 рабочих? Ясно, что за 6 минут не соберут.

Серьезный ответ на подобные вопросы гласит, что стоящая в приведенных примерах цель не делится (первый случай) или в ограниченной степени делится (второй пример) на параллельно реализуемые цели.

Нередко выполнение одной локальной цели может затруднить и даже исключить выполнение другой. Такие цели (две и более) называют антагонистическими. В сложных системах практически не удастся избавиться в той или иной степени от антагонистичности локальных целей. Проблема является наиболее острой для целей одного иерархического уровня. В этом случае задачу принято называть многоцелевой или многокритериальной.

Многоцелевые задачи являются весьма актуальными. В настоящее время они активно изучаются с целью оптимизации их решения. Лесное хозяйство не является исключением. Примером сказанному может служить организация уже упоминавшегося непрерывного и неистощительного лесопользования, понимаемого в широком смысле как использование всех сырьевых ресурсов и полезностей леса при сохранении и приумножении его экологических свойств.

Для максимального получения древесины необходимо поддерживать древостой при высокой полноте, а для большего урожая ягод надо значительное разреживание насаждения. Использование леса для целей рекреации вынуждает создавать поляны, дороги, тропы, что вредно влияет на урожай ягод и снижает запас древесины. Как видим, методы достижения каждой из локальных целей противоречат друг другу.

Примеров таких антагонистических противоречий в лесном хозяйстве очень много: молодые лесные культуры и плотность поголовья лосей; удешевление заготовки древесины на главном пользовании и лесовосстановление; получение высококачественных деловых сортиментов и сроки сокращения выращивания древостоев и т.д.

Решение названной задачи требует организации многоцелевого лесопользования, ранжирования (или иерархии) целей, организации иерархической системы управления и т.д. Задача организации непрерывного и неистощительного лесопользования очень сложная и

пока не имеет абсолютно корректного и окончательного решения.

5.5. Система действий

Ранее говорилось о выделении локальных целей как о первом шаге построения системы действий. Теперь обсудим построение системы для ответов на вопрос «Что делать для выполнения локальных целей?» (средняя ячейка рис. 5.4.). Эти ответы составляют описание действий.

Мы уже отмечали, что существует тесная связь между содержанием верхней и средней ячеек рис. 5.4., т.е. между системой ответов на вопросы «Что должно быть?» или «Зачем?» с системой ответов на вопрос «Что делать?», т.е. между локальной целью и описанием решения задачи. Почему же так происходит?

Во-первых, хороший разработчик мыслит категориями только принципиально осуществимых целей, что сводит к минимуму проблему выбора действий после фиксации согласованных целей.

Во-вторых, часто ответ на вопрос «Что делать для осуществления данной цели?» ищется непосредственно после выбора локальной цели, что позволяет говорить об одновременном создании системы целей и организации действий.

В третьих, формулировка цели часто сама указывает на действия по ее выполнению. То же можно сказать и о последней стадии построения системы действий - нахождению ответа на вопрос «Как?».

Способ выполнения действий (процесс решения) полезно продумывать на начальной стадии построения системы действий. Все это позволяет перейти к обсуждению совокупности действий в целом.

Приведем пример сказанному. Допустим, поставлена глобальная задача изучить динамику сосново-березовых древостоев. Для ее решения разбиваем задачу на ряд локальных целей: анализ литературы, составление программы и методики исследований, проведение экспериментальных работ (закладка пробных площадей), обработка полевого материала, построение частных математических моделей, обобщение материала и т.д.

Рассмотрим какую-то локальную цель из приведенного перечня. Так, организация сбора экспериментального материала сразу требует

ответа на вопрос «Что делать?». Скорее всего, здесь придется закладывать пробные площади. Прежде чем приступить к этой работе, мы должны четко представить как будем ее выполнять (где, какими силами, в древостоях какого состава, что будем делать на пробе и т.д.), т.е. сразу продумываем все три стадии системы действий.

В приведенном примере, как и в любой сложной задаче, создание системы действий представляет собой в значительной степени неформализованный процесс. В нем необходимо учитывать специфику задачи, ее предметно-понятийную (техническую) и научную сферы, как и сведения о системном применении знания, моделировании в целом, математической и другой формализации.

Можно утверждать, что общих приемов, позволяющих составлять подробную систему действий в любой конкретной задаче, не существует. Различные системы действий, безусловно, обладают рядом общих, безотносительных к характеру задачи свойств, но эти свойства лишь в общих чертах определяют организацию действий. Между такими системными сведениями и их практическим применением существует значительный разрыв. Он преодолевается работой исследователя, разработчика, выступающего интерпретатором обобщенного знания и одновременно носителем конкретного, нужного в данной прикладной проблеме.

5.6. Операционные модели

Построение системы действий облегчается использованием типовых схем действий, разработанных для отдельных узких, а иногда и достаточно широких классов задач. Такие схемы называют операционными моделями или операционными программами, схемами, технологическими линиями, маршрутами и т.д. Эти модели, состоящие из набора связанных операций (процедур), представляют собой описание типовых путей решения задач.

Операционными моделями являются всевозможные методики, инструкции, программы и алгоритмы действий, перечисление последовательности операций (регламенты). Ими являются известные всем лесоводам «Правила рубок леса», «Правила по отводу и таксации лесосек», и т.п.

Сюда же относятся такие программы для компьютера как «Бухгалтерия», «Зарплата», типовой САПР или АСУП отрасли и т.д.

Операционные модели имеют высокий уровень общности, которого целесообразно придерживаться. В то же время необходимо учитывать конкретные условия совершаемых действий.

Как любое типовое (усредненное) решение, типовая модель требует к себе творческого, критического, системного отношения исследователя, разработчика и исполнителя, нуждается в преломлении к каждому конкретному случаю. Одновременно такая модель позволяет использовать уже накопленный опыт, экономит силы и время, гарантирует определенный уровень решения задачи.

После всего изложенного можно дать формулировку операционной модели. Операционной моделью будет определенный достаточно общий вид системы действий, годный для передачи и тиражирования. Все, что говорится о системе действий, относится и к операционной модели. Для избежания путаницы в терминах, а также для достижения некоторой общности понятий будем употреблять термин «действие».

5.7. Запись структуры действий

Перейдем сейчас к рассмотрению записи структуры действий. Наиболее распространенным способом такой записи является изображение в виде графической схемы. Вспомним, как мы записывали организацию полевых работ по сбору экспериментального материала для составления таблиц хода роста (рис. 5.2).

Элементами в такой графической схеме являются ячейки и соединяющие их линии. Ячейки, как правило, соответствуют действиям, но они могут указать и на используемые источники или приемники данных (особенно в технических и программных схемах), на технические средства, документы, а также представлять собой краткие комментарии, быть указателем межстраничных переносов схемы и т.д. В ячейке или около нее могут быть записаны ее важнейшие характеристики.

Различными типам и видам действий соответствуют разные по форме ячейки.

В наибольшей степени формализованы и даже стандартизованы записи для составления алгоритмов и программ для компьютеров, разработки АСУ, АСУП, АСПР, САПР, сетевых графиков работ, например, в строительстве и т.д. Так, на изображение символов в

схеме алгоритмов и программ для компьютеров есть специальный стандарт. Там введено изображение 20 типов действий: пуск и останов, действие-процесс, логический выбор (решение), ручная операция, вспомогательное действие, ввод-вывод данных, использование дисплея, оперативной памяти и т.д.

Соединительные линии могут соответствовать очередности действий, путям передачи информации и управления, согласованности ячеек и другого. Они могут быть разными по виду (толщине, цвету, конфигурации). Разный вид соединительных линий соответствует различиям в значимости связи, интенсивности передачи информации, особым режимам работы и другому.

Возле линий иногда пишут числовые или вербальные (словесные) характеристики связи. Стрелки на линии указывают строгую подчиненность или последовательность во времени или предпочтительное (доминирующее) направление связи.

Важным видом действий является логический выбор или условный переход. Он позволяет записывать структуру действий, пригодную для ряда способов ее осуществления. Этот элемент изображают в виде ромба.

Графические схемы есть развитие понятия графа. Схемы могут быть упрощены до уровня графов и исследоваться математическими методами. Эту сторону схем, которая затрагивает теорию графов, мы вынуждены в изложении опустить, так как она является самостоятельной, достаточно сложной частью математики, мало знакомой лесоводам, т. к. теорию графов на лесохозяйственных факультетах не изучают. Упоминание о ней здесь призвано напомнить, что те, кто пожелает впоследствии углубленно изучать системный анализ, должны ознакомиться и с этой областью математики.

Можно говорить об ориентированных и не ориентированных связях, (со стрелками или без них); о тупиковых и начальных элементах, т. е. таких, из которых никуда нельзя попасть или в которые нельзя попасть из схемы действий; о среднем числе связей на один элемент; о петлях и контурах в схеме; о сильно связанных частях схемы и т. д.

Примером графической схемы действий может служить алгоритм для разработки

программы решения квадратного уравнения на компьютере. Это

общеизвестное уравнение записывается как $ax^2+bx+c=0$. Известно что его корни находят по формуле:

$$x_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Выражение b^2-4ac называют дискриминантом (D). Эта, казалось бы, совсем простая схема в графической записи выглядит достаточно внушительно (рис. 5.7.).

На рисунке 5.7 изображено 5 условных переходов и имеется шесть видов выходной информации.

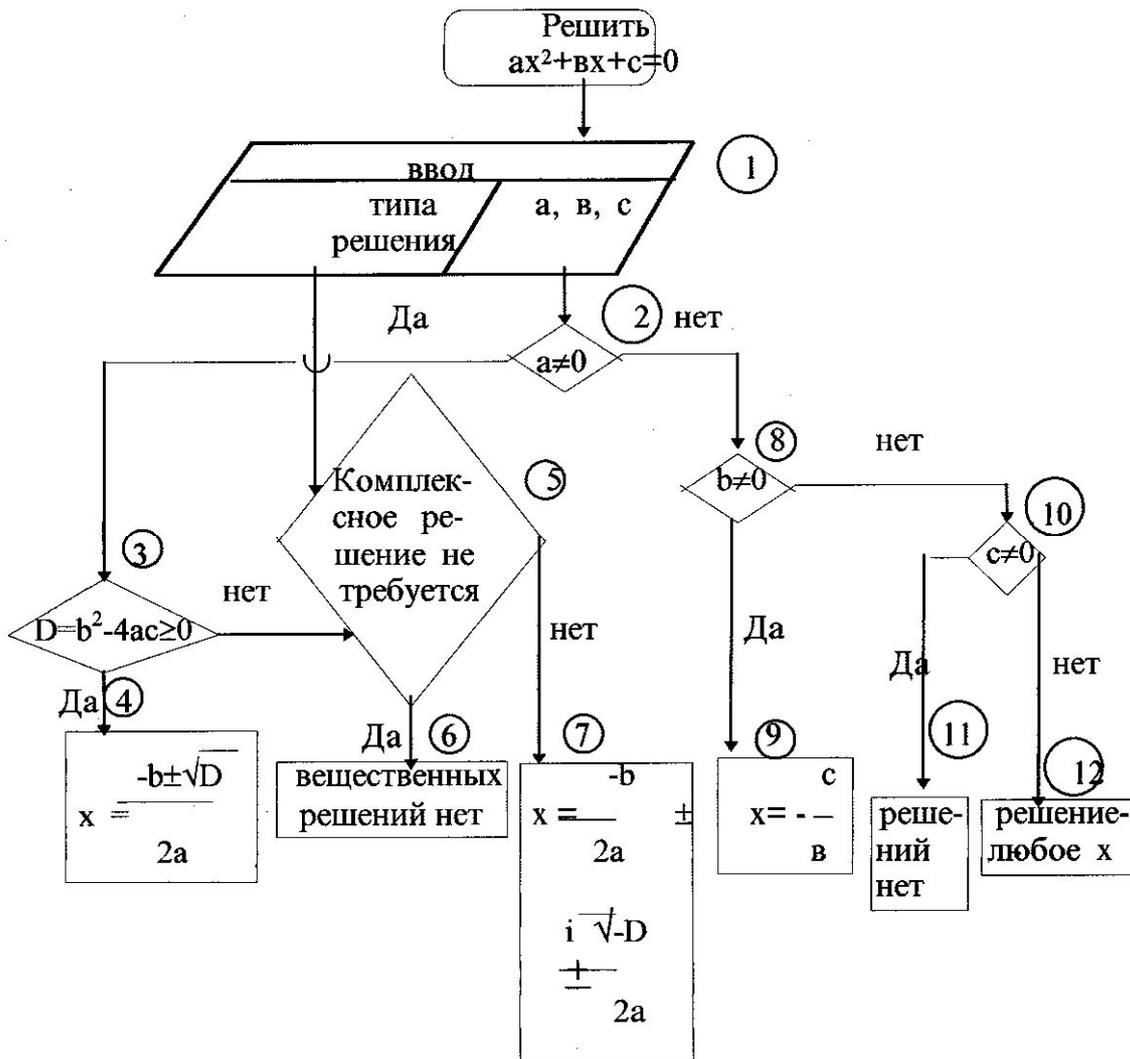


Рис. 5.7. Схема действий по решению квадратного уравнения

Графические схемы могут иметь различные степени детализации

- от весьма грубых для первоначального самого общего знакомства с системой до максимально подробных. Постоянная работа с графическими схемами (алгоритмами действий) вырабатывает привычку и навык оперировать категориями схемы : создавать сначала именно эту структуру.

Так, опытный конструктор даже мебель в квартире расставит сначала на схеме, испробовав разные варианты. При таком подходе экономится много сил и энергии, одновременно достигается оптимальное размещение всех предметов.

В сложных задачах построение схемы - самый эффективный способ работы с системой. На структурной схеме удобно найти место для внесения изменений, выяснить его влияние на результат и т.д.

Учитывая, что схемы относительно просты в построении, именно с их помощью целесообразно лесоведам, которые имеют, в общем-то, не очень большую математическую подготовку, решать задачи системного анализа.

Из других способов записи упомянем матричный (построение квадратной матрицы специального типа), а также стратовый, т.е. через слои, срезы – страты. Здесь они тоже детально не разбираются. При углубленном изучении системного анализа описание таких способов можно найти в учебниках для физико-математических специальностей университетов. Их названия приведены в списке литературы.

Глава 6 ПРОБЛЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

6.1. Постановка задачи

Особое и очень важное место среди всевозможных действий по решению задачи занимает их специальный вид - принятие решений. Его можно определить как преодоление альтернатив. Вспомним знаменитого Буриданова осла. Средневековой ученый - схоласт, представитель номинализма Жан Буридан (1300-1358) построил схему. По этой схеме осел, расположенный ровно посередине между двумя абсолютно одинаковыми охапками сена, не может решить с какой начать есть и, не преодолев эту альтернативу, умирает с голоду.

Чтобы не попасть в положение буриданова осла, надо учиться решать задачи системного анализа и принимать верные решения. Конечно, в реальной жизни даже осел в описанной ситуации принял

бы решение, т.е. выбрал одну из альтернатив, и при наличии сена с голоду никогда бы не умер. Но в жизни есть задачи посложнее буридановой. В них принять решение, да еще и правильное, весьма сложно.

Принятие решения в наше время - это уже далеко не всегда прерогатива человека. Оно может быть сделано и компьютером, и целым рядом других технических устройств - от простейшего регулятора до следящих радиолокационных сетей в комплекте с компьютерной системой. В разнородных задачах по принятию решений есть много общего. Поэтому почти все многочисленные ситуации принятия решений могут быть охвачены единым подходом.

Введем два фундаментальных понятия, связанные с преодолением альтернатив: множество альтернатив (или вариантов действий), которые обозначим через $\{\chi\}$, и принцип выбора, который обозначим через φ . Тогда задача принятия решения может быть записана так:

$$\{\{\chi\}, \varphi\} \rightarrow \chi^*, \quad (6.1)$$

где χ^* - выбранные альтернативы: одна или более.

В зависимости от степени формализации введенных понятий различают три задачи.

1. Задача оптимального выбора - если множество $\{\chi\}$ однозначно определено (фиксировано), а принцип выбора формализован, т.е. может быть описан, передан и результаты его применения к элементам из $\{\chi\}$ не зависят от субъективных условий.

К задачам этого ряда можно отнести решение так называемых транспортных задач, когда из пункта А в пункт Б надо доставить некоторый груз, но нет одной прямой дороги, а есть различные альтернативные варианты: одна дорога короче, но хуже качеством, третья короткая, но требуется перегрузка (разные виды транспорта) и т.д. В этом случае принцип выбора φ достаточно определен - это минимальная стоимость доставки груза, хотя может быть задано и минимальное время доставки.

2. Задача выбора - если множество $\{\chi\}$ однозначно определено, но принцип выбора φ не может быть формализован или даже фиксирован. В этом случае выбор зависит от того, кто и на основе какой информации его делает.

В качестве хорошего примера можно описать сегодняшнюю практику лесного хозяйства Беларуси по реализации лесосек главного

пользования. Множество альтернатив $\{\chi\}$ здесь определено однозначно - это продажа по действующим таксам (в пределах выделенных фондов) или через аукционы, т.е. есть 2 альтернативы. Принцип же выбора ϕ заинтересованные стороны зафиксировать не могут. Лесное хозяйство предпочитает аукционы, т.к. это дает ему большие финансовые поступления. Лесная промышленность ратует за таксы, т.к. это удешевляет его конечную продукцию (мебель, строительные заготовки) и позволяет повысить ее конкурентоспособность.

Выбор решения в описанной ситуации зависит от того, кто его будет принимать - Минлесхоз или концерн Беллесбумпром. Для исключения ведомственности принятие решения должно быть сделано на более высоком уровне. Правительство в 2007 г. приняло компромиссное решение - до 50% древесины продавать на аукционах, а остальное распределить по таксовой стоимости. Но это не решило проблему. Поэтому, понимая ее важность, решение принял Президент нашего государства. Оно учитывает все факторы и мнения заинтересованных организаций, соблюдая при этом интересы государства и населения. Поэтому в настоящее время в Беларуси реализация древесины по таксовой стоимости регламентируется Указом Президента Республики Беларусь №214 от 7 мая 2007 года «О некоторых мерах по совершенствованию деятельности в сфере лесного хозяйства». Этим Указом определено постепенное сокращение отпуска древесины по таксам с прекращением его к 2011-2012 гг.

3. Общая задача принятия решения - если множество альтернатив $\{\chi\}$ не имеет определенных границ (может дополняться и видоизменяться), а принцип выбора ϕ не формализован или даже не фиксирован. В этом случае разные субъекты могут выбирать в качестве решения те альтернативы, которые другими субъектами и не рассматривались, а один и тот же субъект при использовании одного и того же принципа выбора (неформализованного, но для него существующего и существенного) может изменять свое решение при обнаружении им новой альтернативы.

С формальной точки зрения может показаться, что последняя задача настолько расплывчата, что теряет всякий смысл. Похоже, что здесь отсутствует знание и из чего выбирать, и чем при этом руководствоваться. Однако именно эта задача с некоторыми естественными ограничениями наиболее типична для практики.

Вспомним русскую народную сказку в изложении А.Л. Афанасьева (1826-1871 гг.): «Поди туда, не знаю куда, принеси то, не знаю что». Ведь, несмотря на столь неопределенные условия, герой сказки задание выполнил. Конечно, то сказка. Но и в реальной жизни подобных примеров множество. Приведем не сказочный, а реальный пример из жизни. Допустим, что в некоторой стране, например в России, происходят выборы в парламент. Кандидатов много. Конкретный избиратель живет в сельской глубинке. Политика этого сельского жителя особенно не интересует. Цели политиков для малограмотной старухи-крестьянки, живущей вместе с 5-6 такими же пожилыми людьми в угасающей маленькой деревеньки, расположенной в Российской глубинке, не ясны, т.е. всех альтернатив она не понимает. Поэтому решила голосовать за самого красивого – молодого и с шевелюрой. Вдруг появилась иная альтернатива: другой кандидат перед выборами привез и раздал избирателям по пачке чая и бутылке водки. Принцип выбора у нее материальный. Этот принцип неформализованный, но для старушки существующий и весьма существенный, т.к. бутылкой водки она расплатится за вспашку огорода. Потому наша старушка отдает свой голос последнему кандидату.

Приведем еще пример. Есть известный анекдот про сильно пьяного человека, который идя ночью по улице упал и потерял часы. Он их усиленно ищет возле фонарного столба. Прохожий интересуется, где пьяный падал, и слышит ответ, что возле забора. Возникает вопрос, а почему он ищет возле фонаря? Ответ: «Здесь светло, а там все равно ничего не видно!». Как видим именно свет для этого незадачливого человека является принципом выбора.

Приведенные примеры показывают, что положительного результата при таком подходе к решению задачи добиться вряд ли возможно. Но в ряде случаев принцип «работает». Это должно происходить, т.к. в противном случае от него отказались бы раз и навсегда. Приведем пример. Неопытный грибник заблудился в белорусском лесу. Он не знает в какую сторону идти. Поэтому выбирает решение (в его положении существующее и для него существенное) – идти по более легкой для движения дороге. Такой дорогой будет не болото, не густые заросли, а редкий лес, еще лучше тропа, дорога или просека. В конце - концов тропа или дорога со значительной долей вероятности выведут этого грибника или к

населенному пункту или к более оживленной дороге, где он определится с нужным направлением. Правда, в сибирской тайге подобный выбор неверен и может стать губительным.

Выше было сказано, что при формулировании третьей задачи принятия решений обычно существуют некоторые естественные ограничения. Каковы же они?

Во-первых, в реальной задаче, как правило, есть так называемое начальное множество альтернатив $\{\chi^{(0)}\}$, на основе которого приступают к принятию решения. В дальнейшем это множество может изменяться, но допустимо считать, что на любой момент процесса принятия решения мы имеем дело с фиксированным множеством

$$\{\chi^{(i)}\}: \chi^{(0)} \rightarrow \{\chi^{(0)}\} \rightarrow \{\chi^{(1)}\} \rightarrow \dots \rightarrow \{\chi\} \quad (6.2)$$

Так, в рассмотренном примере с выборами в парламент количество альтернатив (т.е. кандидатов) четко определено (конечная величина), хотя их может быть много: 5-10. Потом претендентов, как правило, становится меньше (кто-то снял свою кандидатуру, кто-то не прошел во 2 тур), но в некоторый определенный момент их число все равно фиксировано. В примере с грибником количество дорог тоже ограничено.

Во-вторых, подразумевается, что любая альтернатива χ из множества всех мыслимых альтернатив $\{\chi\}$ может быть оценена с точки зрения полезности ее включения в $\{\chi\}$. Это делается при помощи некоторого вспомогательного принципа выбора ϕ . Чаще всего, этот принцип не формализован. Таким образом, и само множество $\{\chi\}$ является итогом задачи принятия решения:

$$\{\{\hat{\chi}\}, \hat{\phi}\} \rightarrow \{\chi\}$$

Продолжим тот же пример. Из всех кандидатов старушка включает в список достойных лишь тех, кто обещает помогать пенсионерам, вдобавок еще ратует за сельское хозяйство, хотя в тонкостях их программ бабушка и не разбирается. Ее принцип выбора - чтобы ей и другим крестьянам стало лучше жить, т.к. выбранные ею кандидаты обещают прибавку к пенсии, провести дорогу к их селу и т.д. Для упомянутого грибника наиболее приемлемым выбором будет более широкая и наезженная дорога против тропинки.

В-третьих, считается, что существуют хотя бы неформализованные принципы выбора, относящиеся к принимаемому

решению. Часто (но не всегда) есть уверенность, что применение таких принципов различными субъектами дает пересекающиеся или в каком-то смысле близкие результаты.

В том же случае с выборами кандидат в депутаты считает, что судить о нем будут не только по его программе, но и по некоторым другим общим принципам выбора: его возраст (молод), внешний облик, красивая речь, сумма обещаний, хорошая биография, наличие крепкой семьи и т.д. Разные люди при выборе будут руководствоваться не одними и теми же принципами: кого-то тронет, что он бывший детдомовец, а сегодня хороший семьянин, кто-то «клюнет» на обещания, а отдельные и программу почитают. При этом кандидат надеется, что результаты пересекутся и рассчитывает на одинаковый результат - голос за него.

При значительных ограничениях общая задача принятия решения при наличии множества альтернатив без определенных границ и без фиксированного принципа выбора (задача N 3) все же становится обозримой и пригодной для попыток решить ее в определенной степени обоснованно.

Практические пути решения не полностью определенных задач (задачи N 2 и N 3) состоят в использовании для этой цели ряда вспомогательных задач с фиксированным, но меняющимся от задачи к задаче множеством альтернатив $\{\chi\}$ и фиксированным (хотя необязательно формализованным) принципом выбора ϕ , т.е. пользуются набором задач типа N 1, которые в сумме подменяют искомую задачу. При этом применяют следующие приемы.

Первый из них - организация итеративного (дискретно-повторяющегося) процесса решения ряда задач вида N 1, т.е. когда множество альтернатив $\{\chi\}$ однозначно определено, а принцип выбора тоже ясен - задача оптимального выбора. Она состоит в начальном решении одной или нескольких формализованных задач, проведении экспертного анализа их решения, анализа измененных множеств альтернатив $\{\chi\}$ и измененных принципов выбора ϕ . После происходит новое решение набора задач и т.д., вплоть до достижения удовлетворительного результата.

Другой прием заключается в решении ослабленного варианта задач N 1, когда принцип выбора формализован не полностью, а допускает участие экспертов, каждый из которых по-своему, обычно неформальным образом, фиксирует принцип ϕ . В этом случае любой

из экспертов порождает свою задачу типа N 1, а решение исходной задачи формируется на основе их решений.

Следующий прием близок к первому. Здесь задаче N 3 или N 2 сопоставляется ее некоторый аналог, выбранный среди задач N 1, а полученное решение служит основой для неформального поиска решения требуемой задачи.

В целом можно сказать, что ядром задачи принятия решения является задача оптимального выбора (N 1). Полезно считать, что в общей задаче принятия решения нет «абсолютной свободы» для множества альтернатив $\{\chi\}$ и принципа φ , а есть лишь допущение разумности выхода за пределы формализмов, которые использовались на стадиях решения задач.

В качестве примера рассмотрим, решение задачи оптимизации многоцелевого лесопользования. Из ранее рассмотренных примеров можно видеть, что здесь есть множество альтернатив $\{\chi\}$, а принцип выбора φ тоже не совсем ясен. Многоцелевое лесопользование можно осуществлять, используя для решения вспомогательные локальные задачи с фиксированным принципом выбора. Мы ограничиваем альтернативы $\{\chi\}$ числом 1 - 2, самое большое 3: максимум древесины, сохранение биоразнообразия, максимум депонирования углерода. Принцип выбора в этом случае можно зафиксировать как максимум продуктивности. Затем повторяем решение набора других задач: сохранение водоохраных и противоэрозионных свойств леса, максимум сбора грибов; получение ценных сортиментов, оптимизация численности охотничьих животных и др. Решая описанные задачи, постепенно приближаясь к некоторому, правда, весьма условному оптимуму.

Другой прием будет включать широко распространенный в исследованиях по лесному хозяйству метод экспертных оценок. Каждый эксперт по своему видит оптимум, но их совокупное мнение обычно дает удовлетворительный результат. Обычно таким путем пытаются решить задачи, носящие организационно-технический характер. Так, при разработке методов организации территории объекта лесоустройства, которую автор делал в 90-е годы прошлого века, был проведен опрос экспертов о целесообразности и удобстве предложенной классификации. В качестве экспертов привлекли руководителей ведомства, специалистов ПЛХО, главных лесничих лесхозов, Заслуженных лесоводов, широкий круг лесоустроителей,

специалистов-экологов, ученых и др. Получили широкий спектр мнений. В них наряду с общегосударственным подходом просматривался и ведомственный интерес, и личные пристрастия к тому или иному научному направлению. Но собранные вместе, экспертные оценки в целом помогли найти оптимальное решение.

6.2. Декомпозиция задачи принятия решения и оценка свойств альтернатив

Общепринятым принципом, который облегчает принятие решения, является переход от сравнения альтернатив в целом к сравнению их отдельных свойств: аспектов, характеристик, признаков, преимуществ. Основная идея такого перехода состоит в том, что в отношении отдельного свойства существенно легче сказать, какая из альтернатив предпочтительней.

Так, если мы сравниваем два проекта А и Б для выпуска лесохозяйственного трактора, то можем более уверенно говорить, что проект А лучше проекта Б по комфортности, мощности двигателя или еще по каким-то другим признакам, чем в целом. То же мы говорили, сравнивая бензопилы «Хускварна», «Штиль» и «Урал».

Сразу же заметим, что сравнение по отдельным свойствам порождает серьезные проблемы обратного перехода к требуемому сравнению альтернатив в целом, что будем обсуждать ниже.

Выделение свойств альтернатив является не чем иным, как декомпозицией. Свойства первого иерархического уровня делятся на следующие за ними наборы свойств и т.д. Глубина такого деления определяется стремлением дойти до тех свойств, которые удобно сравнивать друг с другом. Так, сравнение двух лесохозяйственных тракторов по комфортности проще, чем по машине в целом. Но комфортность тоже можно понимать по-разному. Поэтому это свойство в целом для сравнения еще неудобно и требует дальнейшей декомпозиции. Здесь уместно сравнить легкость управления, обзор, удобство сиденья, уровень шума в кабине, ее герметичность и т.д. При этом для разных условий каждое из свойств может иметь неравнозначную значимость. Для человека, у которого периодически болит спина, самым важным станет удобное сиденье. При работе в чернобыльской зоне на первое место выходит герметичность кабины и т.д.

Сравнение альтернатив по отдельным свойствам может быть выполнено тремя способами.

1. На основе попарного (реже - группового) сравнения альтернатив по данному свойству;

2. На основе введения естественных числовых характеристик данного свойства;

3. На основе введения искусственных числовых характеристик данного свойства.

Разберем важнейшие свойства этих сравнений.

1. Первый способ – попарное сравнение.

Будем считать, что для двух альтернатив χ^1 и χ^2 из $\{\chi\}$ мы можем произвести выбор наиболее предпочтительный по данному свойству. Способ выбора в общем случае не конкретизируется. Если он связан с использованием числовых характеристик, то такая ситуация относится к способам, изложенным под номерами 2 и 3.

Возникает естественный вопрос, особенно среди математиков, техников и, вообще, у лиц с математическим складом ума - есть ли объективный способ выбора, не связанный с числами. В строгой постановке ответ будет отрицательным, в крайнем случае спорным. Но с практической точки зрения ответ очень часто бывает положительным. Так, следующие утверждения «это кресло удобнее», «этот специалист лучше справится с заданием», «это платье красивее» и многие другие того же рода представляются довольно убедительными и без их числовых характеристик. В реальных, в т.ч. и технических системах при принятии решения сравнения, чаще всего, выполняют именно таким образом.

С формальной точки зрения для альтернатив χ^1 и χ^2 из $\{\chi\}$ вводится бинарная операция сравнения по признаку (свойству) R . Ее запись следующая: $\chi^1 R \chi^2$. Это означает, что альтернатива χ^1 предпочтительней (или в несколько измененной трактовке «не хуже») альтернативы χ^2 по признаку R . Такая операция может быть применена как в любой паре (χ^1, χ^2) из $\{\chi\} \times \{\chi\}$, так и не ко всем из них. В последнем случае мы допускаем, что относительно некоторых пар нельзя сделать выбор. При этом говорится, что элементы множества $\{\chi\}$ лишь частично сравнимы по признаку R .

Операции бинарного сравнения для небольшого числа элементов удобно анализируются с помощью графов. Вершинами графов

является свойство R различных альтернатив, а лучи со стрелками указывают на предпочтения.

Для операции R существует аксиома транзитивности: из $\chi^1 R \chi^2$ и $\chi^2 R \chi^3$ следует $\chi^1 R \chi^3$ (6.3.).

Дополнительно могут быть введены аксиомы антисимметричности и антирефлексивности .

Аксиома антисимметричности:

из $\chi^1 R \chi^2$ и $\chi^2 R \chi^1$ верно лишь одно. (6.4)

Аксиома антирефлексивности.

Из $\chi^1 R \chi^2$ следует несовпадение альтернатив $\chi^2 R \chi^1$. (6.5.).

Естественное отношение предпочтения антисимметрично и антирефлексивно. Отношение «не хуже» («лучше») этими свойствами не обладает. Для обозначения операции сравнения вместо записи $\chi^1 R \chi^2$ может использоваться запись $\chi^1 > \chi^2$ (предпочтение) и $\chi^1 \geq \chi^2$ т.е. не хуже.

На основе бинарного сравнения может быть выполнена специальная операция ранжирования или упорядочения. В результате ее выполнения альтернативы в зависимости от их свойства R (признак) располагаются в определенном порядке: от наиболее до наименее предпочтительной. Математически эта операция эквивалентна некоторой перестановке.

Приведем примеры. Допустим, нам надо принять решение о выборе нового трактора для работы в лесничестве. При этом поставлено условие - выбор идет по лучшим эксплуатационным качествам. Есть возможность выбирать из 3-х альтернатив. Пусть все трактора имеют примерно одинаковую мощность. Мы знаем, что по эксплуатационным возможностям (по мощности) первый ($T1$) лучше второго ($T2$), т.е. $T1 > T2$. Но $T2$ лучше , т.е. мощнее (во всяком случае, не хуже) $T3$, т.е. $T2 \geq T3$. Тогда по соотношению (6.3) можем утверждать, что $T1$ лучше $T3$, или $T1 > T3$. В результате мы можем сделать ранжирование $T1 > T2 \geq T3$. Но в настоящее время сравнение только по мощности недостаточно для оценки эксплуатационных качеств трактора. Очень важно сравнить их другие характеристики, где важнейшей будет расход горючего. Допустим получили такое ранжирование $T2 \geq T3 \geq T1$. Из приведенных сравнений, вероятней всего, последует выбор в пользу $T2$. Приведенный пример является очень простым, но суть дела он проясняет.

Второй способ – введение числовых характеристик. Это наиболее

объективный способ выбора. Если сравнение можно обеспечить «мерой и числом», то мы можем говорить о корректном решении задачи. Необходима лишь уверенность, что выполненное сравнение объективно. Как правило, это бывает, если числовая характеристика обладает физическим смыслом. Так, объективно сравнение по массе, размерам, скорости, быстроте передачи информации, числу связей, времени готовности и т.д.

Продолжим сравнение тракторов. Наш условный трактор Т1 может работать без капитального ремонта на 3 - 5 лет дольше, чем Т2 и на 7 - 8 лет дольше, чем Т3 (при одинаковых условиях эксплуатации), что позволяет объективно сравнить их эксплуатационные возможности.

Сопоставляя лесопосадочные машины, лучшей признаем ту, у которой:

- выше скорость посадки;
- меньше масса;
- меньше размеры;
- ее быстрее можно подготовить к работе;
- сигналы о неисправностях поступают трактористу быстрее и

надежнее

и т.д.

Все приведенные характеристики выражаются некоторыми числами, сравнить которые просто. Такое сравнение объективно.

На основании сказанного можно утверждать, что в задаче принятия решения следует стремиться довести композицию до уровней, на которых возможны численные оценки.

Свойства, для которых существуют объективные численные характеристики, называются критериями. Таким образом, получение набора критериев – это наилучший итог декомпозиции. Он настолько привлекателен для практики, что к его анализу прибегают и тогда, когда естественные числовые характеристики отсутствуют. В этом случае вводят искусственные оценки типа баллов. Они проставляются экспертами: судьями, оценщиками, проверяющими, дегустаторами и т.д. Каждый из экспертов может исходить из своего неформального типа выбора. Но в большинстве случаев абсолютно свободного выбора нет, так как обязательно есть некоторые правила, принципы, ограничения, в т.ч. количественные, которых придерживаются эксперты.

Примеров здесь очень много. Так, ряд спортивных соревнований оценивают по баллам: фигурное катание, гимнастику, акробатику, до известной степени, борьбу и бокс. В последних двух видах спорта, если не достигнута чистая победа (нокаут или укладка противника на лопатки), то победу присуждают по набранным очкам или баллам.

Судьи на ринге имеют свободу мнения, но и некоторые обязательные придержки у них тоже есть. Скажем, падение в гимнастике, «тройной тулуп» в фигурном катании и т.д. отнимают или приносят какое-то количество баллов. В акробатике, фигурном катании, гимнастике судья не поставит высокий балл, если спортсмен упал. В боксе учитывают пропущенные (и, соответственно, достигшие цели) удары, нокдауны и т.д.

Декомпозицию используют дегустаторы при оценке вин и пищевых продуктов. Так, у вина учитывают букет, аромат, цвет, вкус и т.д. При этом придерживаются определенных правил, хотя выводы дегустаторов в значительной мере основываются на собственном опыте и сравнениях. Но вино, которое признано лучшим, обычно оценивается практически всеми объективными дегустаторами достаточно высоко.

Подобным образом осуществляется судейство на выставках собак, кошек, лошадей и т.д. Есть своя система у оценщиков пушнины: по размеру, цвету, блеску шкурки, прочности ворса и т.д..

А вот такой вид «спорта», как тараканы бега, оценивается уже по объективным критериям - скорости. Кстати, тараканы-спортсмены кое-где ценятся высоко. Недавно в интернете появилось объявление: «В связи со срочным отъездом за границу отдам в хорошие руки любимого дрессированного таракана - чемпиона по бегу». Был приведен телефон хозяина. Оказалось, что над человеком кто-то зло подшутил, написав от его имени столь шутовское объявление. Пострадавший жаловался на многочисленные звонки любителей пошутить. По его телефону стали интересоваться сделаны ли таракану профилактические прививки, которые положены домашним животным. Что предпочитает есть любимец хозяина? Как часто и регулярно ли его надо кормить? Приучен ли ходить самостоятельно в туалет? Часто ли таракан-рекордсмен требует прогулок на улице? Требуется ли за этого жильца дополнительно платить за газ, воду и т.д. В общем, человека «достали». Вот такой «системный анализ» устроили «эксперты», анализируя сложную систему «таракан».

В лесном хозяйстве тоже широко распространены балльные оценки. Вспомните 6-балльную (от 0 до 5) шкалу урожайности семян и плодов деревьев и кустарников В.Г. Каппера. Сюда же можно отнести относительную полноту древостоя, шкалу классов бонитета, стадии рекреационной дегрессии насаждений и т.д. В ряде случаев, хотя и используется балльная оценка, но она сопровождается количественными оценками: бонитет, полнота.

Когда надо сравнить два насаждения, особенно смешанные, то в силу их сложности сделать это без декомпозиции системы нелегко. Правда, здесь есть интегральная количественная величина - запас древостоя. Но по стоимости одного кубометра древесины разные породы могут существенно отличаться. Неодинаково и целевое назначение древесины отдельных древесных видов: производство газетной бумаги еловой древесины, в строительстве предпочитают применять сосну и ель, для производства мебели лучше подходят твердолиственные породы. Все сказанное вносит дополнительные сложности в оценку. К тому же запас древостоя зависит от многих факторов: возраста, условий местопроизрастания, полноты и густоты. Поэтому одинаковый запас древесины на двух участках несет очень мало информации о древостоях. Последние при равном запасе могут различаться возрастом, классом бонитета, полнотой, и, главное, товарной структурой. Следовательно, для корректного сравнения приходится сопоставлять участки леса и по дополнительным признакам.

Для целей кадастровой оценки большое значение имеет балл земли, т.е. показатель ее плодородия. Подобные оценки в баллах или величинах их заменяющих обычны в искусстве: музыка, театр и т.д. В принципе, по этой же системе преподаватель оценивает знания студента. Правда, в последнем случае есть и объективные критерии. Кто ответил на все вопросы, никогда не получит «неуд» и наоборот. Но все же определенная субъективность эксперта присутствует. Поэтому те экзамены, которые имеют очень важное, переломное значение в жизни молодого человека, принимает не один преподаватель, а целая комиссия или они проводятся по специальной системе формализованных тестов. К ним относят вступительные экзамены в институт, госэкзамены, защита дипломного проекта или диссертации и т. д.

Искусственные оценки, как мы видим из примеров, непрерывно

переходят в естественные. Так, глазомерное установление полноты и бонитета тут же приобретает объективную количественную оценку при использовании полнотомера, высотомера и специальных таблиц.

Это же происходит при приеме экзаменов, если используют формализованные тесты или автоматы, например, в ГАИ. Этот список можно продолжить, вспомнив проставление коэффициентов трудового участия, для распределения заработка в бригаде рабочих, определение разрядов рабочего и т.д.

Дополнительным приемом, который может облегчить все три названные способа сравнения, является распределение элементов по подмножествам. В этом случае любая альтернатива χ из $\{\chi\}$ в целом и по своему свойству R относится к одному из фиксированных подмножеств $\{\chi^I\}$, $\{\chi^{II}\}$, ... Такая задача называется задачей классификации и может сводиться как к перечисленным способам сравнения, так и быть самостоятельной.

Частным случаем классификации выступает деление свойств альтернатив на группы по их важности в данной задаче принятия решения. Выделяются свойства, которые наиболее важны для учета, просто важные и т.д. Смысл этого приема состоит в сужении числа свойств, принимаемых во внимание в первую очередь.

Приведем пример. Допустим, нам надо сравнить два смешанных насаждения. Одно имеет такие таксационные показатели: 5С5Б, II класс бонитета, полнота 0,7, возраст - 50 лет, запас 180 м³/га. Второе характеризуется следующими данными: 8С2Б, I класс бонитета, полнота 0,8, возраст 40 лет, запас 180 м³/га. Площадь обоих древостоев - 1 га. В нашем примере запас древесины одинаков, хотя насаждения существенно различаются.

Решение задачи может сводиться к перечисленным приемам: делаем декомпозицию и сравниваем полноты, бонитеты и т.д. В данном случае удобнее разделить насаждения на 2 подмножества и сравнить отдельно сосновую и березовую часть. Тогда найдем, что запас сосны в первом древостое равен 90 м³, во втором - 144 м³; березы соответственно - 90 м³ и 36 м³. В одном насаждении полнота сосны - 0,33, березы - 0,67. Аналогично для второго участка: полнота сосны - 0,45, березы - 0,35. Затем мы сможем оценить запас по таксам, или выяснить, какое насаждение лучше использует плодородие лесных земель, или решить какую-то иную задачу. При этом допустимо принять предположение, что запас древостоя - это его

наиболее важное свойство, состав (доля сосны) - важное, бонитет - менее важное и на этой основе решить, какой древостой нас лучше устраивает. По лесоводственным и таксационным показателям им станет второй участок.

При сдаче экзамена студент отвечает на билет, в который включено 2-3 вопроса, а иногда и задача. Преподаватель оценивает ответ на каждый вопрос отдельно, а затем объединяет оценки с учетом важности каждого вопроса. При этом существуют некоторые критические (пороговые) значения, выход за которые ведет к отрицательному результату. Например, неумение будущей медсестры делать уколы, исключает возможность ее положительной оценки как специалиста. При сдаче экзамена по лесной таксации незнание правил (хотя бы одного из нижеперечисленных) учета деловой древесины и дров, неумение проводить материально-денежную оценку лесосек, определить таксационные показатели насаждения с неизбежностью приводят к отрицательной оценке, т. к. без этого знания инженер лесного хозяйства не в состоянии успешно работать.

6.3. Композиция оценок и сравнений

Мы говорили об оценке отдельных свойств системы. Однако, рано или поздно, но надо возвращаться к оценке системы в целом. Операция оценки системы в целом по результатам характеристик ее свойств называется композицией.

Сначала проанализируем ситуацию, когда все свойства альтернатив имеют численную оценку, т.е. являются критериями. Обозначим их через C_i , где $i = 1, 2, \dots, n$ (можно записать и по-другому: $\overline{1, n}$). В представленном случае любой альтернативе может быть сопоставлена точка n -мерного пространства E^n , координаты которой есть значения соответствующих критериев. Такое пространство называется критериальным. Будем для определенности считать, что чем больше значение i -го критерия $C_i \{ \chi \}$, тем предпочтительнее данная альтернатива по свойству i .

Рассмотрим две произвольные альтернативы. Здесь возможны ситуации:

1. Одна альтернатива не хуже другой по всем критериям, т.е.

$$C_i(\chi^2) \geq C_i(\chi^1), \quad i = \overline{1, n} \quad (6.6)$$

При этом допускается, что хотя бы одно из неравенств выполняется как строгое.

2. Утверждать такое, как в п.1, сделать нельзя.

Условие (6.6) - это естественное условие предпочтения альтернативы χ^2 перед альтернативой χ^1 . Здесь переход от χ^1 к χ^2 улучшает наш выбор.

Существуют ли неулучшаемые альтернативы? Да. К сожалению, в практике это обычное явление. Для такого случая (неулучшаемость альтернатив) надо лишь иметь ограниченность значений критериев $C_i(\chi)$, где $i = \overline{1, n}$.

Пример. В классической русской художественной литературе XIX века часто описывался выбор богатой невестой жениха. Вспомните «Женитьбу» Н.В. Гоголя, пьесы А.Н. Островского. Невеста оценивает потенциальных женихов по разным элементам: нос, борода, фигура, общественное положение, богатство, но у каждого есть очень хорошее только что-то одно. А композиция из этих оценок получается только в ее воображении: «...Если бы нос Ивана Ивановича да к фигуре Петра Петровича и т.д.». Поскольку выбор ограничен, то альтернативы оказываются неулучшаемы.

Неулучшаемые альтернативы часто встречаются при проведении научных исследований. Так, при разработке нового вида спелости леса – эколого-экономической-разработчик (О. В. Лапицкая []) столкнулась с двумя неулучшаемыми альтернативами. Одной из них явилась экономическая спелость, выражаемая тем возрастом древостоя, когда достигается максимальная народнохозяйственная эффективность лесовыращивания. Другой альтернативой была экологическая спелость, которая выразилась через средний возраст древостоя, где достигается максимум среднего прироста совокупности насаждений исследуемого объекта: лесхоза, области, государства. Этот показатель (средний прирост) аккумулирует процесс воспроизводства запаса леса, обуславливая постоянство лесопользования на конкретной территории в аспекте положения пространство – время. Как уже сказано, описанные альтернативы неулучшаемы. Решение приведенной задачи будет описано ниже.

Попробуем все вышесказанное выразить достаточно строго, сделав графическую интерпретацию (рис. 6.1.). Возьмем некоторое критериальное пространство, расположенное в пределах осей

координат C_1 C_2 и ограничимся $n = 2$. Альтернативы обозначим точками и крестиками. При этом крестиком отметим неулучшаемые альтернативы. Неулучшаемой альтернативой будет та, что расположена выше и правее других. На рис. 6.1. «а» - это единственная альтернатива. Проверить ее неулучшаемость просто - провести из данной точки лучи параллельно положительному направлению осей C_1 и C_2 и убедиться, что в образованном углу других альтернатив (точек и крестиков) нет.

Итак, в позиции «а» на рис. 6.1. есть одна неулучшаемая альтернатива, которую мы и выберем как наилучшую. Но на позиции «б» рис. 6.1. их уже три, т.е. более одной. Действительно, образовав углы, аналогичные позиции «а», мы находим, что лучи, образующие угол, пересекаются, т.е. в образованных углах есть другие альтернативы. Так, альтернатива χ^1 выше других, но левее, а χ^3 ниже, но правее.

Рисунок (6.1.) «в» показывает, что возможен случай, когда есть множество неулучшаемых альтернатив (v_1) или, когда все альтернативы неулучшены (v_2).

Множество неулучшаемых альтернатив называется множеством Парето для данной задачи. Точки, не принадлежащие множеству Парето, не могут считаться лучшей альтернативой. Последнюю можно выбирать только из этого множества (Парето).

В практике наиболее типичен случай, показанный на рис. 6.1. «б» и 6.1. «в₁», т.е., когда есть несколько неулучшаемых альтернатив, а остальные явно хуже.

Поясним сказанное примерами. Продолжим описание терзаний купеческой дочери-невесты. Ясно, что для нее неулучшаемыми альтернативами явились бы такие женихи: с известным положением, богатый, знатный. Именно из них она бы выбрала мужа, а остальные альтернативы (с усами, с хорошей фигурой и т.п.) оказывались явно хуже, если брать типичную ситуацию, описанную в литературе.

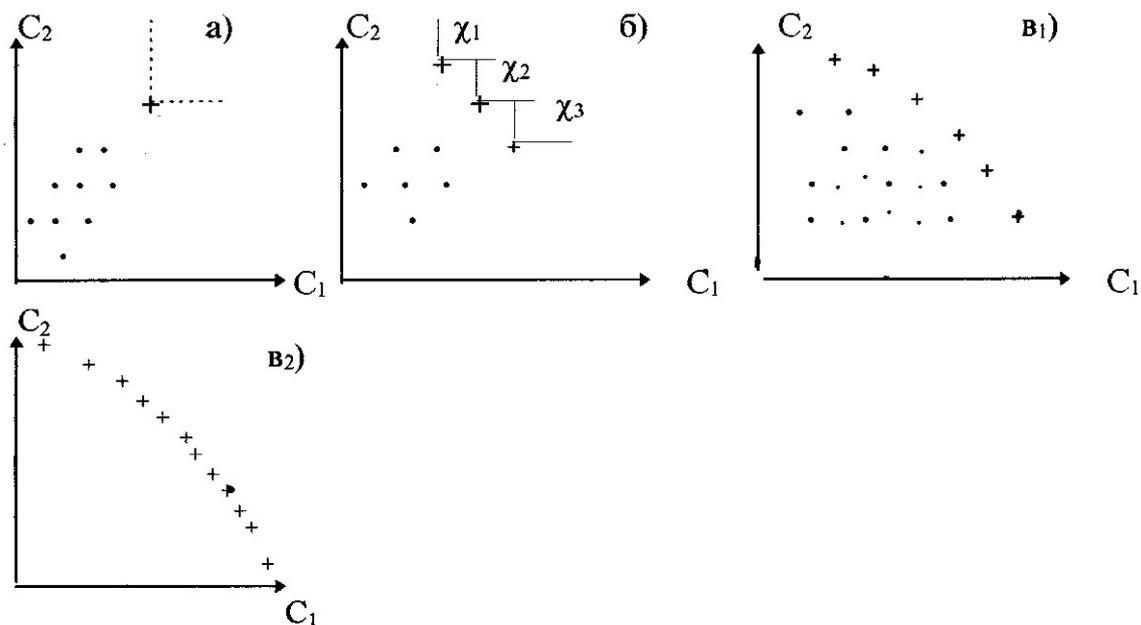


Рис. 6.1. Критериальное пространство. Множество Парето.

При анализе лесопользования неулучшаемыми альтернативами будут следующие: максимизация объема выращиваемой древесины, достижение минимальной стоимости заготовки 1м^3 древесины: при проведении рубок главного пользования, обеспечение сохранения подроста и т.п. В этом же ряду стоит необходимость вывозки с лесосеки всей вырубленной биомассы, требования поддерживать плодородие почвы, сохранение биоразнообразия и т.д.

При сравнении различных насаждений разного породного состава, полноты, класса бонитета неулучшаемыми альтернативами будут следующие: полнота и связанный с ней запас древостоя; размер проективного покрытия ягодников, так как с увеличением полноты насаждений оно уменьшается, достижение максимального урожая ягод требует определенной освещенности. Для рекреационной привлекательности насаждений требуется значительная доля открытых пространств, что снижает полноту, а нахождение большого количества людей в лесу приводит к вытаптыванию и уничтожению травяного покрова и т.д. В рассматриваемом случае главными неулучшаемыми альтернативами является запас древостоя или его денежная стоимость, а для отдельных типов леса, например, для сосняка сфагнового, запас ягод: клюквы, голубики. Остальные

альтернативы – подлесок, напочвенный покров – заметно менее значимы.

Выделение множества Парето - это первый шаг в сравнении альтернатив. Можно ограничиться этим и считать лучшими все те альтернативы, которые попали в названное множество.

В лесном хозяйстве множество Парето встречаются на каждом шагу. Можно сказать, что лесоводы постоянно решают эту задачу, чаще всего не зная, что она называется таким красивым именем. По аналогии вспомним бессмертного Ж.Б. Мольера (1622 - 1673) и его произведение "Мещанин во дворянстве", где главный герой очень удивился, узнав что говорит прозой.

Основная задача лесного хозяйства - обеспечение страны древесиной и другими продуктами леса одновременно с сохранением и усилением экологических свойств леса - относится к множеству Парето, т.к. имеет много неулучшаемых альтернатив. Максимум запаса древесины к возрасту главной рубки входит в противоречие с интенсивным прижизненным использованием древесины (рубки промежуточного пользования), а также с максимумом побочных использований и наличием диких животных, особенно копытных.

В обычных жизненных ситуациях мы часто не можем согласиться со многими альтернативами, нам надо выбирать одну. Та же невеста вынуждена в конце- концов выбрать в мужья из многих женихов кого-то одного.

К сожалению, приемов выбора, которые основаны на столь же убедительных предположениях, как те, что привели к выделению множества Парето, не существует. Для дальнейшей формализации выбора вводятся более специфические и часто просто спорные приемы. Рассмотрим те, что встречаются чаще.

1. Выбирают альтернативу, у которой сумма значений критериев максимальна. Это ведет к максимизации некоторой выбранной функции от критериев $f(C_1, C_2, \dots, C_n)$. Функция имеет вид:

$$f = \sum_{i=1}^n \alpha_i C_i, \quad (6.7.)$$

Такой вид функции наиболее употребителен и называется линейной сверткой критериев с весами α_i . На рис. 6.2. альтернативой с максимальной суммой критериев (свертка с $\alpha_i = 1$) будет точка χ^1 , т.к. у нее сумма координат по C_1 и C_2 наибольшая.

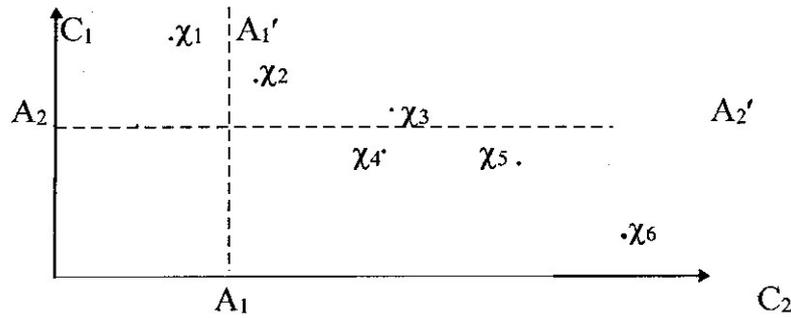


Рис. 6.2. Примеры выбора на множестве Парето.

На рис. 6.2. сумма критериев для отдельных альтернатив следующая:

$$\sum \alpha_i C_i = \chi_5 > \chi_4 > \chi_6 > \chi_3 > \chi_2 > \chi_1. \quad (6.8.)$$

Сложение критериев друг с другом и операции с ними редко бывают физически обоснованными. Весьма искусственной выглядит, скажем, сумма стоимости продукции хозрасчетного цеха лесхоза и количество позиций в номенклатуре его продукции.

Введение функции от критериев в большинстве случаев вынужденная мера, ведущая к необходимости экспертного определения весов отдельных критериев.

Выше упоминались неулучшаемые альтернативы при определении эколого-экономической спелости леса. О.В.Лапицкая [] решила эту задачу, т.е. нашла возраст эколого-экономической спелости леса путем максимизации суммы критериев. Так как здесь, оказалось невозможным ограничиться максимизацией некоторого даже весьма значительного фактора, то все они приняты как равные показатели. Потому был применен метод индексов, чтобы сделать разнородные показатели сравнимыми. Приняв две альтернативы, где C_1 – экономическая спелость леса, а C_2 – экологическая спелость, необходимо было определиться с принципом их выбора, т.е.

$$\{\{\chi\} \Phi\} \rightarrow \chi';$$

где $\{\chi\}$ – множество альтернатив;

Φ – принцип выбора;

χ' – выбранные альтернативы.

Поскольку обе альтернативы являются равноправными, то здесь невозможна бинарная операция сравнения по некоторому свойству, т.е. не применимо выражение $\chi' R \chi^2$, где $\chi' \chi^2$ – соответствующие альтернативы; R – некоторые признаки. Неприменимы в

рассматриваемом примере и аксиомы антисимметричности, когда из $\chi'R\chi^2$ и $\chi^2R\chi'$ верно лишь одно; и антирефлексивности или несовпадения альтернатив, т.е. $\chi'R\chi^2$.

Поэтому при решении описываемой задачи названным автором (О.В. Лапицкой []) была использована композиция оценок. Поскольку C_1 и C_2 являются неулучшаемыми альтернативами, принадлежащими множеству Парето, то для решения задачи применен рассмотренный выше метод максимизации функции f от критериев $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$, т.е. $f = \sum_{i=1}^n \alpha_i C_i, \rightarrow \max$, т.е. проведена линейная свертка критериев с весами α_i .

Переходя от абстрактного описания метода, к конкретным значениям в приведенной задаче, отметим что был получен набор индексов значений экономической составляющей (C_1) для определенного возраста (α_i), т.е. $\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, а также индексы величины экологических показателей (C_2) для тех же возрастов древостоя. Максимальная величина суммы индексов в некотором возрасте α_i определила возраст эколого-экономической спелости.

Приведенный пример решения конкретной задачи из практики лесного хозяйства свидетельствует об успешном применении методов системного анализа в лесном деле. Более широко об использовании системного анализа в лесо-хозяйственной науке и практике рассказано ниже в главе 7.

2. *Второй метод решения задач, имеющих неулучшаемые альтернативы*, заключается в том, что фиксируют набор чисел (уровней) $A_i, i = \overline{2, n}$, и ищут альтернативу, у которой на все критерии, кроме одного, наложены ограничения $C_i(\chi) \geq A_i$ а оставшийся критерий C_1 максимален. Естественно, что взятие в качестве основного, главного критерия именно C_1 условно: он, как и важные в этой задаче уровни A_i , подлежит специальному выбору. На рис. 6.2. при закреплении уровня A_1 для первого критерия в качестве решения получим альтернативу χ^2 , (по C_1 он максимален), а при уровне A_2 для второго - альтернативу χ^3 . Действительно, если за критерий C_1 возьмем линию $A_1 A_1'$, то χ_1 окажется, вообще, за пороговым значением, и его из рассмотрения исключаем. Здесь по C_1 критерии выстроятся в такой ряд:

$$\chi_2 > \chi_3 > \chi_4 > \chi_5 > \chi_6.$$

При закреплении уровня A_2 A_2' для C_2 получаем альтернативу χ^3 , т.е. по $\sum \alpha_i C_i$ получим $\chi_3 > \chi_2 > \chi_1$. Критерии χ_4, χ_5, χ_6 оказываются ниже порогового значения A_2 A_2' .

Описанные приемы (1,2) обладают важным свойством - предварительное выделение множества Парето в них не обязательно. Доказано, что использование этих приемов на всем множестве альтернатив при весьма общих условиях дает тот же результат, что и на множестве Парето. Хотя назначение этих методов - выделять единственную альтернативу, но сильная зависимость от весов и уровней, вида свертки и выбора главного критерия приводит к тому, что на практике предпочитают решать набор задач с различным выбором всего перечисленного.

Приведем пример. Пусть надо выбрать альтернативу при создании смешанного древостоя. Допустим, что он может иметь такие составы: 5С5Б (χ^1); 5С5Е (χ^2); 5Е5Б (χ^3) и 4С4Е2Б (χ^4). Определим критерии. Пусть их будет 2 - максимум продуктивности в возрасте 90 лет (C_1) и максимум выбора древесины в порядке промежуточного пользования (C_2).

Нарисуем график (рис. 6.3.)

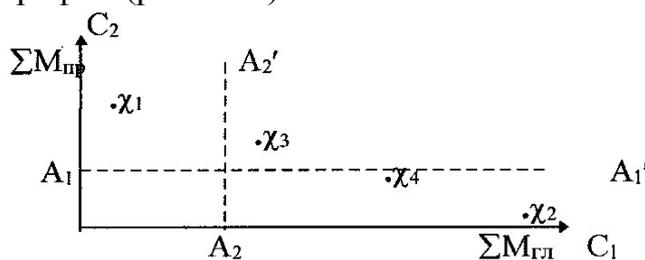


Рис. 6.3. Выбор на множестве Парето оптимального состава древостоя.

По C_1 отложим запас в 90 лет, по C_2 - сумму запасов промежуточного пользования за 90 лет. По C_1 альтернативы разместятся так: $\chi_2 > \chi_4 > \chi_3 > \chi_1$. По C_2 получим $\chi_1 > \chi_3 > \chi_4 > \chi_2$. По признаку $f = \sum \alpha_i C_i$ получим $\chi_2 > \chi_4 > \chi_3 > \chi_1$.

Если мы зафиксируем некоторый минимальный уровень по C_1 и по C_2 , обозначив их A_1 A_1' и A_2 A_2' , то получим

$$\text{по } C_1 : f = \sum \alpha_1 C_1 = \chi_2 > \chi_4 > \chi_3$$

$$\text{по } C_2 : f = \sum \alpha_2 C_2 = \chi_3 > \chi_1$$

Наиболее приемлем, видимо, выбор по признаку $f = \sum \chi_1 C_1$, где предпочтение надо отдать χ^2 , т.е. рекомендовать состав 5С5Е.

3. Третий прием заключается в следующем. Точки множества Парето оцениваются по некоторому дополнительному свойству, которое не учитывалось ранее. Это свойство (одно или более) может иметь физический характер или быть просто математическим приемом. Так, альтернативы можно сравнивать по такой геометрической характеристике, как «срединность», т.е. по принципу «и нашим, и вашим». На рис. 6.2. такой альтернативой (вариантом), будет максимум главного и промежуточного пользования, т.е. здесь лучшим оказывается χ^4 .

В примере на рис. 6.3. искомым вариантом будет χ^3 или χ^4 (по $\sum \chi_i C_i$ лучше χ^4), т.е. при составе древостоя 4С4Е2Б обеспечивается достаточно высокий запас в 90 лет, но там же можно осуществить значительное промежуточное пользование.

Напомним, что задача, приведенная для примера, широко распространена и имеет важное практическое значение. В большинстве случаев лесоводы решают ее так же, как и в нашем примере, т.е. выбирают вариант, который ведет к максимуму суммы главного и промежуточного пользования. В последние годы, особенно в скандинавских странах, очень большое внимание уделяют объемам заготовки древесины при прореживаниях. Поэтому там искомым критерий (в примере на рис. 6.3) сместится ближе к χ_3 . Напомним, что в этих странах все коммерческие рубки, т.е. такие, которые проводят при достижении древостоем высоты 13 м и выше, называют прореживаниями.

Для решения предыдущей задачи можно ввести дополнительное свойство, что отвечает требованиям подхода N3. Пусть таким дополнительным свойством станет сохранение биологического разнообразия. В этом случае альтернатива χ_4 имеет явные преимущества. Если же мы введем иное дополнительное свойство - получение максимума ценных балансов, в т.ч. березовых, то лучшей будет альтернатива χ_3 .

4. Четвертый способ заключается в том, что точки множества Парето поступают на экспертную оценку, по результатам которой на основе баллов, системы приоритетов, ранжирования, правил вето и т.д. выделяется единственная альтернатива. Если точек множества Парето слишком много, то проводят их предварительный отбор, где тоже используют формальные и неформальные приемы.

Формальные приемы обычно связаны с какой-либо «равномерной

представимостью» точек, а экспертные приемы могут быть основаны на выборе перспективных комбинаций из значений критериев и на других соображениях.

Из изложенного видно, что даже для случая, когда все свойства альтернатив являются критериями, т.е. определены количественно, выбор достаточно сложен.

Рассмотрим теперь ситуацию, когда для части или даже для всех свойств альтернатив можно ввести не численную оценку, а лишь отношение сравнения.

Допустим, что любая из альтернатив имеет n свойств, каждому из которых может быть задана уже рассмотренная операция сравнения вида $\chi^1 R \chi^2$ т.е. бинарная операция сравнения. Обозначим эти операции через R_1, R_2, \dots, R_n . Пусть они транзитивны и антирефлексивны. Вспомним, что антирефлексивные оценки - это вывод, что из $\chi^1 R \chi^2$ следует несовпадение альтернатив χ^1 и χ^2 , а аксиома транзитивности звучит так: из $\chi^1 R \chi^2$ и $\chi^2 R \chi^3$ следует $\chi^1 R \chi^3$.

Допустим, что по любому соотношению R_i , где $i = \overline{1, n}$ сделали сравнение двух любых альтернатив из $\{\chi\}$. Тогда (доказательство от противного) по каждому свойству может быть выполнено полное ранжирование альтернатив. Это полезная операция, которая далее будет использоваться. Ее результатом явится набор перестановок из альтернатив, который можно записать в виде матрицы из n столбцов по числу свойств и N строк по числу альтернатив.

Поясним сказанное примером. Пусть есть задача с четырьмя альтернативами ($\chi^1, \chi^2, \chi^3, \chi^4$) и двумя свойствами (R_1, R_2). Допустим, что ранжирование альтернатив по свойствам дало такой результат:

$$\chi_1 R_1 \chi_4, \chi_4 R_1 \chi_3, \chi_3 R_1 \chi_2; \quad (6.9)$$

$$\chi_4 R_2 \chi_3, \chi_3 R_2 \chi_2, \chi_2 R_2 \chi_1. \quad (6.10)$$

Приведенное ранжирование (6.9., 6.10) запишем в виде матрицы

$$\begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 4 & 3 \\ 3 & 2 \\ 4 & 1 \end{pmatrix}$$

Вспомним, что в первой строке помещены наиболее предпочтительные альтернативы по первому и второму свойствам.

Одним из способов работы с такой матрицей является введение условного пространства свойств. В нем в проекции на ось (R_i)

альтернативы (χ_i) будут располагаться в соответствии с ранжированием по операции R_i . Графически записи (6.9.) и (6.10.) изобразятся следующим образом (рис. 6.4.).

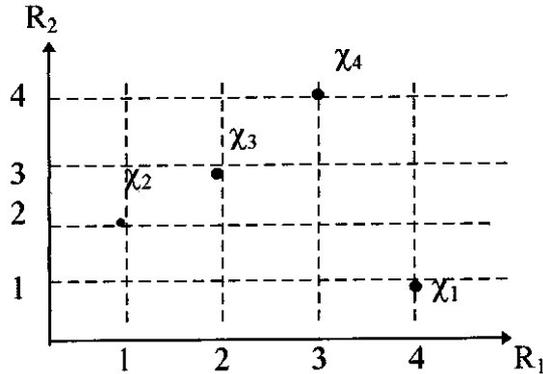


Рис. 6.4. Условное пространство свойств (графическая запись выражений 6.9. и 6.10.)

Неулучшаемые альтернативы выделяют аналогично тому, как это мы делали в критериальном пространстве, т.е. из точки χ_i проводим лучи, параллельные положительным значения R_1 и R_2 , и в образовавшемся углу проверим наличие других альтернатив. На рис. 6.4 неулучшаемыми альтернативами будут χ_1 и χ_4 . Далее с неулучшаемыми альтернативами работаем аналогично тому, как это было с точками множества Парето в критериальном пространстве.

В условном пространстве мы фактически ввели искусственную оценку -место альтернативы в столбце матрицы ранжирования. Поэтому сверткой (ее аналогом) будет сумма мест в столбцах. Из 6.10. видно, что χ_1 имеет сумму мест 5, $\chi_2 - 7$, $\chi_3 - 5$, $\chi_4 - 3$. В результате наилучшей надо считать альтернативу χ_4 , которая занимает второе и первое место в столбцах R_1 и R_2 . Сумма мест для χ_4 при условии единичных весов равна 3, т.е. минимальна среди всех альтернатив. Аналогом уровня A_i будет место, ниже которого данная альтернатива не опускается в столбце i . Пусть $A_1 = 3$, а $A_2 = 2$. Тогда по A_1 не рассматриваем χ_2 , а сумма мест будет (при $A_2 = 4$) $\chi_1 = 5$; $\chi_3 = 5$; $\chi_4 = 3$. По A_2 (при $A_1 = 4$) χ_1 и χ_2 не рассматривается, а $\chi_3 = 5$; $\chi_4 = 3$. При одновременно заданных уровнях $A_1 = 2$ и $A_2 = 3$ остается только $\chi_4 = 3$.

Более сложный случай составляет частичное ранжирование.

Покажем как оно делается. Запишем выражение (6.9.) в измененном виде:

$$\begin{aligned} \chi_1 R_1 \chi_4, \chi_4 R_1 \chi_3, \chi_3 R_1 \chi_2, \\ \chi_4 R_2 \chi_3, \chi_2 R_2 \chi_1. \end{aligned} \quad (6.11.)$$

В (6.11.) сделано полное ранжирование альтернатив по R_1 , и частичное по R_2 . Теперь требуется найти наилучшие альтернативы.

Общий метод здесь состоит в выделении из всех пар альтернатив таких $(\chi_k \chi_l)$ таких, где $\chi_k R_i \chi_l$, $i = \overline{1, \dots, n}$. Как только такая пара выделяется, альтернатива χ_l убирается из дальнейшего рассмотрения, т.к. здесь χ_k предпочтительней. Но часто многого добиться здесь не удается.

Так, в нашем примере неулучшаемые альтернативами остаются χ_1, χ_2, χ_4 .

Из изложенного следует, что частичное ранжирование (упорядочение) ведет к росту числа неулучшаемых альтернатив. При частичном ранжировании не существует ни матрицы ранжирования, ни условного пространства свойств. Дальнейший выбор среди неулучшаемых альтернатив проводят обычно методами экспертизы. Реализация описанных принципов в лесоводственных исследованиях описана ниже в главе 7.

6.4. Организация принятия решения

Организация принятия решения требуется не всегда.. Есть класс решений, которые называют простыми. Такое решение будет тогда, когда не пользуются ни выделением и сравнением отдельных свойств (декомпозицией), ни формализованными методами композиции. В этом случае принимают решение либо на основе сравнения какого-либо очевидного (главного) свойства решения, либо на основе чистой интуиции.

Простые решения принимают не только в отношении несложных задач, где решение бывает достаточно очевидным. Как раз для несложных задач простые решения чаще всего оправданы.

Но простые решения принимают иногда и в очень сложных случаях. Правда, результат принятия простого решения для сложной и очень сложной задачи далеко не всегда бывает положительным.

Приведем примеры. Если нам надо выбрать одну из двух технологий проведения санрубки - вручную или с помощью бензопилы, то решение будет простым, т.к. есть очевидный (главный)

признак для сравнения - производительность труда. Продолжая пример проведения рубок леса, отметим, что приступая к разработке лесосеки, лесничий не станет делать системных расчетов, чтобы выяснить какую бригаду и с какой техникой направить для выполнения данной работы. Выбор у него невелик, а часто его и вовсе нет (бригада с трактором одна), и простое решение здесь оправдано. Простые решения лесничий принимает и при организации другой производственной деятельности, особенно по вопросам, которые четко регламентируются нормативными документами: типы лесных культур, назначение уходов за лесными культурами, осуществление отпуска древесины населению и многое другое.

К сожалению, мы имеем примеры, когда простое решение (без детального анализа всех альтернатив) принималась на интуитивном уровне или без просчета всех возможных вариантов. Можно вспомнить ввод советских войск в Афганистан, начало войны в Чечне, да и развал СССР. Здесь во внимание было принято одно свойство, явившееся главным для лиц, принявших решение. В первом случае это было расширение социализма, во втором экономические интересы политических элит, а в случае развала СССР присутствовала элементарная борьба за власть. Простое решение об увеличении размера лесопользования в Европейской части СССР, принятое на рубеже 20-30 годов прошлого века, польза которого казалось очевидной, хотя это противоречило научным воззрениям, оказалось пагубным, что сказилось через 30 лет. Негативные последствия этого простого решения сложной системы мы ощущаем до сих пор, - возрастная структура лесов Беларуси, Украины и Европейской части России неудовлетворительна.

По правилам системного анализа для решения сложных задач требуется организация принятия решения. Она включает следующие приемы.

1. Декомпозицию альтернатив на свойства, удобные для сравнения.
2. Возможное ранжирование этих свойств по сложности.
3. Выбор числовых характеристик свойств (критериев) и операций предпочтения, утверждение экспертных процедур для искусственной оценки свойств.
4. Выбор методов композиции.
5. Выбор вида информации для окончательного решения.

6. Окончательное решение.

В этапы 1÷5 могут входить дополнительные экспертные процедуры для выполнения поставленных в них задач.

К организации принятия решения по вышеизложенной схеме обычно привлекается пять видов специалистов.

А. Руководитель - лицо, принимающее решение. Этот человек полностью отвечает за решение задачи. Он утверждает организацию решения по этапам 1÷5 и единолично принимает окончательное решение. Коллегиальное решение (голосование) здесь не рассматривается.

Б. Консультанты или помощники руководителя. Они совместно со специалистами по системному анализу участвуют в организации решения, обсуждают промежуточные и окончательные результаты, могут защищать или оппонировать варианты решений. Только они могут давать советы руководителю, т.е. лицу, принимающему решение.

В. Эксперты. Они в заданных, жестко ограниченных рамках, производят оценку, сравнение, ранжирование представленных им на экспертизу отдельных сторон альтернатив или как исключение альтернатив целиком. Эксперты могут привлекаться к организации решения, но сами решений ни принимают.

Г. Специалисты по использованию технических средств. В первую очередь это математики и программисты-компьютерщики. В задаче принятия решения, они, как и эксперты, действуют в строго ограниченных рамках предложенных им задач. Применение компьютеров в основном сосредоточено в этапах 3 и 4. Организация этих этапов должна включать фиксацию формальных задач, наиболее распространенными из которых является вычисление критериев, применение методов свертки и главного критерия, нахождение множества Парето.

Д. Специалисты по системному анализу, которые совместно с консультантами организуют процедуру принятия решения и проверяют ее на соответствие общим положениям системного анализа.

В приведенном перечне функции специалистов разделены. На практике они могут совпадать.

Часто встречаются ситуации, когда действует ряд осложняющих факторов, а именно.

1. Требуется принять решение при отсутствии возможности или времени для четкого определения цели, выбора альтернатив и поисков нужной информации.

2. Окончательная фиксация цели (условий), альтернатив и информации считается частью принятия решения.

В первой ситуации обычно предпочитают решения, близкие к простым. Здесь можно говорить лишь о грубой декомпозиции альтернатив, ранжировании свойств по важности и т.д., а окончательное решение принимается с учетом интуиции и опыта. Например: борьба со стихийным бедствием, действие капитана и экипажа при аварийной ситуации на морском судне или на самолете, действия летчика в воздушном бою и т.п. Применение математических методов здесь затруднено, так как при нечеткой постановке задачи и отсутствии достаточной и достоверной информации получим весьма неточный результат, который очень часто будет хуже, чем тот, что достигим без применения математических методов.

Сказанное есть выражение общих подходов. Естественно, что все стадии принятия решений реализуются в полном объеме лишь на весьма сложных задачах, имеющих важное государственное или общественное значение. К ним относятся разработка крупномасштабных прогнозов, планов и проектов, создание крупных АСУ, вопросы, относящиеся к обороне и т.д.

У лесничего при принятии решения нет под рукой специалистов по системному анализу, экспертов и консультантов. Он сам должен быть и системщиком, и экспертом и т.д. Хотя, если подходить достаточно строго, то для решения задач в масштабах лесничества, видимо, трудно отыскать только специалиста по системному анализу (тут уж самым подготовленным будет лесничий), а консультантами и экспертами вполне могут выступать лесники, рабочие, мастера, которые хорошо и в деталях знают проблемы лесничества.

В качестве примера системного подхода приведем разработку крупной научно-технической программы. Например в лесном хозяйстве Беларуси с 2006 года выполняется Государственная научно-техническая программа по лесному хозяйству: «Управление лесами и рациональное лесопользование». Ее подготовка проводилась в течение 2003 - 2005 годов. Лицом, принявшим решение о ее проработке и финансировании, явился Председатель Совета

Министров. Консультантами выступали его заместители, которые курируют сельское и лесное хозяйство, а также экологию, руководители и ведущие специалисты Государственного Комитета по науке и технологиям. В качестве экспертов были приглашены крупные ученые-лесоводы и практики лесного хозяйства. Специалистами по использованию технических средств при принятии решения являлись сотрудники государственного Комитета по науке и технологиям и Министерства лесного хозяйства. Именно они определили вид представления программы, подготовили всю информационную базу и т.д. Госкомитет по науке и технологии организовал также процедуру принятия решения. Здесь функции специалистов по пунктам Б - Д совпали.

При любых условиях принятия решения будет полезно включить стадию выработки предварительного решения и его проверку на дополнительных оценках, экспертизах, исследовании неочевидных и вторичных последствий, широкое обсуждение и т.д. Это поможет уяснить положительные и отрицательные стороны, а также увидеть пути улучшения решения. Указанные обстоятельства в сложных системах часто приводят к итеративности процесса решения задачи, т.е. к цикличности, повторению, циклам, шагам.

Обычно первые предложения не удовлетворяют руководителя, хотя этот вариант нередко бывает и лучшим. Лица, принимающие решение, выдвигают требования учесть дополнительные свойства, ранжировать их, расширить или сузить используемую информацию и т.д.

Наглядным примером сказанного служит порядок принятия расчетной лесосеки. Для начала посмотрим как это делалось в СССР. В 60 - 80-е годы объемы заготовки древесины в пределах величины расчетной лесосеки по Европейской части СССР постоянно оказывались меньше потребности народного хозяйства. Так, на 1976 – 1980 гг. по Европейской части СССР заявленные потребности и представленные возможности лесопользования расходились с дефицитом в 60 млн.м³/год. На 1981 – 1985 гг. этот баланс в начале формирования плана был дефицитным на 30 млн.м³/год. Расчетная лесосека утверждалась в Госплане СССР. До утверждения процесс определения расчетной лесосеки проходил длинный и сложный путь. Первоначально расчетная лесосека вычислялась в лесоустраительной партии по обобщенным материалам лесоинвентаризации. Затем ее

проверяли в лесоустроительной экспедиции, защищали в лесоустроительном предприятии и на научно-техническом совете В/О «Леспроект». Кроме того, величина этой лесосеки проходила согласование в лесхозе, лесохозяйственных органах области и республики. После всего расчетную лесосеку рассматривал Гослесхоз СССР (с 1988г. Госкомлес). Несмотря на столь тщательную экспертизу, Госплан СССР очень часто лесосеку не утверждал, находя разные недоработки, выдвигал дополнительные претензии из вышеперечисленного перечня, и все начиналось сначала. Все требования Госплана обычно сводились к увеличению объемов вырубki.

Опытные начальники лесоустроительных партий сразу ставили самые большие цифры из возможных, но они уменьшались работниками лесхозов и областных управлений, которые хотели иметь меньшие объемы работ и беспокоились о будущем наших лесов. Поэтому на 2 лесоустроительном совещании и при согласованиях в вышестоящих органах лесного хозяйства величина расчетной лесосеки уменьшалась до вполне разумных пределов, что оказывалось неприемлемым в Госплане. Обычно волевым путем на самом верхнем уровне утверждалась максимальная лесосека. При утверждении пятилетних планов на 1976-1980 годы и 1981-1985 годы для уменьшения дефицита древесины по Европейской части СССР расчетная лесосека без особых обоснований повышалась на 20-30%. Поэтому, хотя со второй половины 70-х и до конца 80-х годов расчетная лесосека в БССР не перерубалась т.е. научные принципы лесопользования как бы соблюдались, но сама величина этой лесосеки была завышена, и фактически велось истощительное лесопользование. Следовательно, правилами и требованиями системного анализа в описанном случае пренебрегали.

Результат известен – к 1992 году в Беларуси, Украине и в ряде областей в Европейской части РСФСР спелые леса вырубili почти полностью. Чтобы исключить волюнтаристский подход к расчету и утверждению расчетной лесосеки, в Беларуси принята четкая инструкция по ее определению с жесткими ограничениями. Одним из наиболее значительных ограничений является минимальный срок, за который можно вырубить имеющиеся спелые насаждения. Результатом введенного подхода к лесопользованию в Беларуси стало увеличение количества спелых лесов с 2,4% в 1992 году до почти 9% в

2007, хотя и последняя величина недостаточна для организации постоянного лесопользования. Таким образом, можно отметить, что увидев негативное последствие отступления от научных принципов, лесоводы Беларуси приняли меры по их восстановлению, и результат не замедлил сказаться.

В настоящее время по созданным человеком алгоритмам решение может принять (и принимает) компьютер. Организация такого решения бывает сложной и повторяет этапы 1÷6 приведенной выше схемы.

Есть широкие классы задач, когда принятие решения компьютером или другим техническим средством является вынужденной мерой. Такое случается при обработке очень больших массивов информации за малое время, принятия большого количества однотипных и тривиальных решений.

Примером принятия подобных решений является система ПВО (противовоздушной обороны) почти каждой страны. Только компьютер в состоянии в считанные минуты и секунды обработать информацию о приближении угрозы (летающие самолеты или ракеты) и дать своевременную команду на готовность к отражению атаки: привести в боевое положение ракеты, поднять в воздух самолеты. Правда, последующие действия (пустить ли все это в ход) компьютеру не доверяют. Это уже прерогатива человека, причем, находящегося на самом верху иерархической структуры государства: президент, премьер-министр, иногда в более простых случаях - министр обороны.

Описанный порядок действий по принятию решения в критических ситуациях верен, что подтвердила практика. В 70-80-е годы имелись случаи, когда на компьютер поступала неверная информация. У нас это все было строго засекречено, а американцы сообщали, что несколько раз за самолеты и ракеты их радары принимали стаи перелетных птиц, особенно гусей. Самолеты по тревоге в воздух взлетали, но дальше ситуацию оценивали люди, и ошибки исправлялись.

Нам осталось рассмотреть вопрос об организации экспертизы. Классические формы экспертиз - это заполнение экспертами анкет, таблиц, интервью и т.д. Чаще всего, используют анкеты (таблицы). В вопросники включают простые вопросы, которые для ответа не надо разбивать на части. Лучше если ответ может быть сведен к "да" и "нет", но возможны и иные варианты.

Обычно от эксперта хотят получить числовую оценку - в баллах, процентах и т.д. Но, как правило, человек более обоснованно дает качественную характеристику явления, чем количественную, т.е. ему легче сказать хороша или плоха оцениваемая позиция, чем выразить ее в каких-то цифрах.

Экспертизы различаются по форме взаимодействия экспертов. Здесь выделяют свободный, регламентированный и недопустимый обмен мнениями. Каждый из способов имеет свои плюсы и минусы.

При свободном обмене мнениями идет открытая дискуссия. Эксперт может корректировать свое мнение с учетом новых аргументов. Но здесь есть опасность доминирования одних экспертов над другими. Например, если в лесхозе идет обслуживание какой-то сложной проблемы, то мнение директора или главного лесничего обычно доминирует над предложениями лесничего или мастера леса. Мнение последних может оказаться не учтенным. Зная опасные последствия, эти работники иногда даже и не высказываются, особенно в сложной ситуации и при больших разногласиях.

Регламентируемое общение требует более сложной организации. Одним из достаточно известных видов такого обсуждения, является "мозговой штурм (атака)". Здесь сначала высказываются все мнения без обсуждения, и лишь потом начинается дискуссия под руководством хорошо подготовленного и беспристрастного ведущего.

В старой русской армии подобным регламентируемым обсуждением являлись Военные Советы. Первым на Совете высказывался самый младший по чину. Этим снималось давление старших на младших. Вспомним военный совет в Оренбурге во время его осады войсками Е. Пугачева, описанный А.С. Пушкиным в книге «Капитанская дочка». Аналогично проходил военный Совет в Филях в изложении Л.Н. Толстого: заключал старший по чину – М.И. Кутузов. Форму общения, принятую на тех Военных Советах, полезно взять на вооружение и современному руководителю.

Недопустимый обмен мнениями наблюдается, если эксперты работают изолировано, т.е. общение между ними отсутствует. Здесь все мнения идут в дальнейшую обработку. Недостаток этого метода в том, что в обработку могут попасть искаженные или неверные оценки, которые изменяют баланс альтернатив. Такие оценки при свободном или регламентированном обмене мнениями были бы выявлены и отсеяны. Причины плохих ответов бывают разные. В основном это

зависит от нарушения требований при подборе экспертов - попадают некомпетентные или предвзятые специалисты. Некоторые работники неспособны решать нестандартные задачи и предвидеть неочевидные последствия.

Можно вспомнить проводимые в стране всенародные обсуждения важных проблем, референдумы. В этом случае экспертами имели право выступать все граждане. Конечно среди множества предложений встречались и отдельные явно негодные или предвзятые, но они были объективно оценены и отклонены.

6.5. Формализованные и неформализованные действия

Формализованной называется операция или процедура, если определены и однозначно понимаемы (человеком, компьютером, другим техническим устройством) последовательность элементарных актов по ее реализации. Процедура или операция называется неформализованной, если она проводится с использованием интуиции человека, т.е. с неполным осознанием аргументов и приемов выбора действий.

Ранее уже упоминались эти термины, но предполагалось, что их смысл достаточно ясен, так сказать, на аксиоматическом уровне. Здесь разберем этот вопрос подробнее.

Формализация предполагает возможность многократного повторения одной и той же процедуры (принцип неуникальности), ее пригодности для определенного множества исходных данных (вариативность входов), возможность фиксации последовательности действий на каком-либо носителе (в т.ч. в виде письменного текста) для хранения, передачи, тиражирования.

Однозначная понимаемость элементарных актов по реализации операции или процедуры имеет следствием совпадение результатов применения одной и той же процедуры к одним и тем же исходным данным. Типичными примерами формализованных операций является работа программы для компьютера, действия рабочего на конвейере, ответы справочной службы, обработка полевых материалов лесоводственных исследований по утвержденной методике, работа следящих или контролирующих технических средств например, за

давлением в газопроводе, перекрывая подачу газа при превышении некоторой величины и т.д.

В принципе, могут быть формализованы, но чаще остаются неформализованными выбор метода решения задачи, вычисление зависимостей и связей. Например, нахождение зависимостей между таксационными показателями древостоя: высота - диаметр, высота - видовое число, высота - запас и т.д. В качестве других примеров приведем работу по вычислению таксационных параметров древостоя на компьютере. Так, можно, заложив в компьютер некоторое уравнение с уже вычисленными параметрами или без них, предполагая определение параметров в процессе решения задачи, формализовать вычисление кривой высот, т.е. зависимость $H=f(D)$. Допустим, что для решения названной задачи использовали наиболее распространенное уравнение параболы 3-го порядка: $H = a_0 + a_1D + a_2D^2 + a_3D^3$. В большинстве случаев приведенная модель "работает" хорошо. Но есть и отклонения от типичных ситуаций, примерно в 15-25% случаев. Для них нужно подбирать уравнение другого вида.

Обобщая все возможные случаи, когда требуется или не требуется формализация, отметим, что всегда надо (желательно) исследовать возможность формализации некоторого действия. Строго говоря, вышеперечисленные случаи вычисления зависимостей и связей, не являются формализованными. Но какие-то операции из той схемы действий можно формализовать.

Формализация упрощает и облегчает нашу работу. Во-первых, тогда большую ее часть можно переложить на плечи машины: автопилота, регулятора, компьютера и т.д.

В то же время формализацию нельзя возводить в абсолют. Приведем пример. Лесничий - это "специалист по всем наукам". Изучал он и строительное дело. Поэтому, когда потребуется построить новую контору лесничества из кирпича, то именно лесничий явится главным заказчиком, организатором и прорабом. Ситуация известна мне по собственному опыту. В свое время и передо мной вставал вопрос как класть кирпичную кладку - со сплошным швом или внахлест. Специалисты - математики, занимающиеся системным анализом, скажут, что эта задача является средней по сложности. Она может быть формализована и решена методом конечных элементов. В результате получим ответ - лучше класть стену со сплошным швом - так немного экономичней. Но любой

каменщик знает, что стена, положенная со сплошным швом, обязательно развалится. Нужна ли формализация и сложные вычисления, если есть многолетний опыт? Вопрос риторический. В подобных случаях человек на базе своего опыта, знания, интуиции может решать задачи быстрее, дешевле и надежнее, особенно, если модель плоха, а информации мало. Кстати, когда я занимался строительством конторы, то системного анализа не знал, задачу технологии кладки стены математически не решал, но поступил по всем правилам системного анализа: послушал консультантов и экспертов (тех же каменщиков), положился на их знание, умение и опыт, и контора стоит уже 45 лет и, думаю, простоит еще 100 лет.

Таким образом, приходим к выводу, что в практике полезно сочетать формализованные и неформализованные действия. Наиболее часто вопрос о формализации действий встает при работе с компьютерами. Обычно в этом случае человек выполняет неформализованные, а компьютер - формализованные действия.

6.7. Интерактивные системы

В программировании процесс вмешательства оператора в работу компьютера или автоматического устройства называют интерактивным. Хотя развитие техники освободило и будет освобождать дальше человека от рутинного физического и умственного труда, но выполнение неформализованных действий еще долго останется за человеком. В этой связи встает вопрос об оптимальном сочетании формализованных и неформализованных процедур.

В будущем, по крайней мере в технике, основной объем действий будет формализован. Действия человека, которые останутся неформализованными, станут носить характер принятия решения. При этом очень важную роль играет информация, на базе которой принимаются решения, что выше уже обсуждалось. Поэтому, информация должна подлежать строгой регламентации. Желательно, чтобы решения человека были простыми. Решения, где надо учитывать много сторон проблемы, обычно оказываются менее оперативны и обоснованы.

Основные формы участия человека в диалоге с машиной при сочетании формализованных и неформализованных действий, т.е. в

интерактивных системах сводится к следующему.

А. Вмешательство в работу системы. Его обычно называют управлением.

Б. Визирование работы технических средств: контроль, просмотр, анализ и согласие (или несогласие) с их действиями.

В. Запрос информации и ее направление на обработку. Сюда же входит тестирование технических средств и поиск неисправностей.

Г. Выдвижение новых идей и представлений, проверка гипотез и вариантов. Это возможно при создании новых систем и реконструировании старых.

Примерами интерактивных систем являются различные системы проектирования (САПР), гибкие автоматические производства (ГАП) и т.д. В них человек решает лишь узловые, неформализованные или плохо формализованные проблемы.

Общим результатом размещения человека в сложной системе является наделение системы внутренней активностью, способностью совершенствоваться, приспосабливаться, изменяться не на основе заранее заложенных алгоритмов и механизмов самообучения, а на основе неформализованных решений. Такая активность является естественным продолжением обычной активности человека, ее отличие лишь в многократном расширении возможностей, которые представляет техника.

Уже сейчас мы имеем быстрый доступ к большим объемам информации, можем осуществить переработку ее огромных массивов, в состоянии быстро сменить модели, принципы и методы управления. Это сочетается с гибкостью человеческой психики, быстрой сменой уровней охвата проблемы, способностью оценки проблемы с новых и неожиданных точек зрения и возможностью интуитивных действий.

Идея интерактивности состоит в интенсивности работы за счет активности человека внутри сложной системы. Именно она (интерактивность) позволяет объединить все достоинства формализованных и неформализованных действий и успешно решать широкие классы задач, недоступные только техническим средствам или только человеку.

Примером таких систем являются функционирование в лесном хозяйстве ГИС – технологии, которые базируются на использовании компьютерных программ, банков данных «Лесной фонд» и имеющейся картографии. Действуют эти системы в автоматическом

режиме, выдавая по запросу нужные сведения, но при необходимости человек может вносить в нее коррективы, изменения и решать новые задачи.