

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

В. Ф. БАГИНСКИЙ

Применение системного анализа в лесном хозяйстве

Утверждено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений высшего образования
по специальности «Лесное хозяйство» и магистрантов
по специальностям «Лесные культуры, селекция и семеноводство»,
«Лесоустройство и лесная таксация»,
«Лесоведение и лесоводство, лесные пожары и борьба с ними»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2016

УДК 630:303.732.4(075.8)

ББК 43.4в623я73

Б144

Рецензенты:

кафедра лесоустройства учреждения образования
«Белорусский технологический университет»,
кандидат сельскохозяйственных наук И. В. Толкач;
доктор биологических наук,
профессор, член-корреспондент НАН Беларуси В. Е. Падутов

Багинский, В. Ф.

Б144 Применение системного анализа в лесном хозяйстве :
учебник / В. Ф. Багинский ; М-во образования Республики
Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель:
ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – 175 с.
ISBN 978-985-577-232-4

В учебнике освещены основные положения теории систем, прикладные аспекты теории принятия решений, практика и перспективы использования системного анализа в лесоводственных исследованиях и в лесном хозяйстве.

Учебник предназначен для студентов и магистрантов лесохозяйственных и лесоинженерных 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 и природоохранного профиля.

УДК 630:303.732.4(075.8)

ББК 43.4в623я73

ISBN 978-985-577-232-4

© Багинский В. Ф., 2016

© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет имени
Франциска Скорины», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Стратегическим планом развития лесного хозяйства Республики Беларусь на 2016–2030-е годы предусмотрено существенно повысить уровень лесопользования и улучшить другие показатели работы отрасли. Для выполнения этих задач потребуется принять комплекс сложных управленческих решений, основанных на современных научных разработках. Научные подходы к выполнению актуальных практических задач должны быть комплексными, опирающимися на методическую базу системного анализа и математического моделирования.

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 профессора М. К. Турского и его учеников, эта школа дала много примеров блестящего описания математическими методами лесных закономерностей.

Впоследствии на этом пути были отступления (вспомним, как упорно выступал против форстматематиков профессор 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 профессор К. Е. Никитин в начале 60-х годов. Им создана научная школа (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.

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

с соавторами, Ленинградском НИИ лесного хозяйства (ЛенНИИЛХ) – А. Г. Мошкалевым и др., в Институте леса и древесины Сибирского отделения АН СССР (В. В. Кузьмичев, 1977) и в других местах. В работе по внедрению математических методов и ЭВМ в лесные исследования активно участвовали белорусские ученые, работавшие в Белорусском НИИ лесного хозяйства (БелНИИЛХ) и Белорусском технологическом институте (БТИ): Ф. П. Моисеенко, Н. Т. Воинов (1969, 1972), В. Ф. Багинский (1969, 1971), О. А. Атрощенко (1976, 1979, 2004) 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. Лиёпа 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.). Однако базовое образование инженера лесного хозяйства до недавнего времени не включало изучение этой нужной дисциплины.

В 90-е годы, в сравнении с 50–70-ми годами, значительно расширена и углублена математическая подготовка инженеров-лесоводов. Выпускники лесохозяйственных факультетов 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 отличительные черты.

Во-первых, математическая подготовка лесоводов в силу особенностей их образования и будущей работы, которая имеет в основном биологическую и экономическую направленность, уступает той, что получают студенты специальных физико-математических факультетов университетов и вузов, готовящих инженеров-механиков, электротехников и т. д.

Во-вторых, особенности функционирования лесного хозяйства требуют определенной адаптации курса системного анализа к реальным биологическим и лесоводственным системам.

В 2009 году вышло учебное пособие с грифом Министерства образования «Системный анализ в лесном хозяйстве» для обучения студентов по специальностям «Лесное хозяйство», «Лесоинженерное

дело», «Садово-парковое хозяйство» (автор В. Ф. Багинский). По этому учебному пособию студенты Гомельского государственного университета успешно обучаются до сих пор. К настоящему времени учебное пособие, которое было издано ограниченным тиражом, стало библиографической редкостью. Основные положения, изложенные в этом учебном пособии, апробированы в практике преподавания дисциплины, использовались в научных работах и показали свою надежность. Поэтому встал вопрос о переиздании учебного пособия «Системный анализ в лесном хозяйстве» в новом качестве – как учебника для обучения студентов по специальностям «Лесное хозяйство», «Лесоинженерное дело» и «Садово-парковое хозяйство».

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 студентов 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 учебнике его автор, не являясь профессиональным математиком и не претендуя на самостоятельное изложение теоретических 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, явились книги В. А. Губанова и др. [22], К. Е. Никитина и А. З. Швиденко [42], Гиг Дж. ван [21].

Примеры и различные приложения системного анализа в лесном хозяйстве разработаны автором настоящего учебника 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 других, о чем в тексте сделаны ссылки. Примеры рассчитаны на объем знаний, которые получают студенты лесохозяйственных факультетов ко 2-му году обучения, когда читается курс системного анализа.

Изложенные в настоящем учебнике сведения представляют собой лишь самые первые знания из области системного анализа, то есть 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, так как курс системного анализа для студентов-лесоводов относительно небольшой.

В практической работе в лесничестве, где в первое время будут заняты выпускники лесохозяйственных факультетов, углубленные знания по системному анализу в полной мере пока не востребованы. Но уже на уровне лесхоза специалистам необходимо принимать сложные решения, требующие системного подхода и знания системного анализа. Специалисты, которые учатся в магистратуре и аспирантуре, после усвоения положений настоящего учебника получают возможность 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) на более высоких уровнях управления в проектных организациях лесного профиля (лесоустройство и др.) 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.

Практика применения системного анализа в лесном хозяйстве показало, что кроме студентов лесохозяйственных факультетов учебник по этой дисциплине может оказаться полезным для магистрантов, аспирантов и специалистов лесного хозяйства, а также для экологов и студентов, обучающихся по общебиологическому профилю. Он может быть использован специалистами научно-исследовательских и проектных учреждений, а также работниками лесничеств и лесхозов, производственных лесохозяйственных объединений, работниками более высоких уровней управления в лесном хозяйстве.

Учебник «Применение системного анализа в лесном хозяйстве» подготовлен в полном соответствии с учебной программой по этой дисциплине, утвержденной в установленном порядке.

Автор выражает благодарность рецензентам – сотрудникам кафедры лесоустройства Белорусского технологического университета (заведующий кафедрой канд. с.-х. наук, доц. И. В. Толкач) и заведующему лабораторией генетики леса и биотехнологии Института леса НАН Беларуси доктору биологических наук, проф., члену-корреспонденту НАН Беларуси В. Е. Падутову за детальный разбор работы и ценные замечания, учёт которых позволил улучшить учебник.

1 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ КАК НАУЧНАЯ ДИСЦИПЛИНА

Понятия «система», «системный анализ» являются основными 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 требуют внимания очень широкие и разнообразные области приложений, из которых 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.

Научная дисциплина «Системный анализ» еще относительно молода, многие ее понятия еще не устоялись. Мы будем оперировать 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 др. 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, животные, 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, может показаться, что

несравнимы лес и самолет, научно-исследовательский институт и стая волков, что это совершенно разные совокупности. Но более глубокое рассмотрение позволяет найти у них много общего. 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. Задачи, решаемые в лесном хозяйстве, постоянно усложняются. В настоящее время лесоводы отрасли занимаются комплексной работой, начиная от создания новых лесов, их выращивания до организации лесозаготовок, переработки древесины и ее реализации. Одной из основных задач является повышение продуктивности лесов. Все эти и другие проблемы постоянно возникают перед специалистами–лесоведами. Для их правильного решения требуется одновременный учет множества факторов. Это и биологические законы роста и развития древостоев, и особенности проводимых лесохозяйственных мероприятий по выращиванию леса (посадка, рубки ухода, защита от вредителей и болезней и так далее), и экономное расходование средств, и оптимизация заготовки и переработки древесины для полного и рационального использования древесного сырья, максимизация прибыли от реализации производимых отраслью товаров и услуг. Нельзя сбрасывать со счета необходимость выдерживать требования устойчивого развития, то есть соблюдения экологического императива. Это особенно важно для лесного хозяйства, так как лес обладает многими экологическими функциями, в том числе планетарного масштаба.

Все сказанное исключает принятие простых решений при определении путей развития лесного хозяйства даже на уровне лесхоза. Здесь требуется рассмотрение разных альтернатив, их сравнительная оценка, выбор лучших или композиция разных альтернативных вариантов. Разобраться во всех хитросплетениях проблем, возникающих в лесном хозяйстве, могут только системно мыслящие руководители разного уровня. Знание основных положений, правил и приемов системного анализа для таких руководителей существенно облегчают принятие верных решений, которые производит человек или технические средства (например, компьютер), но оно всегда основано на оценке вариантов, их сравнении. Обучению всему этому предполагает курс системного анализа. Все приемы и методы системного анализа осуществляются с помощью специально разработанных методик, типовой организации принятия решений, которые излагаются в данном учебнике.

2 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

- 2.1 Определение систем.
 - 2.1.1 Элементы и связи в системе.
 - 2.1.2 Структура и иерархия системы.
- 2.2 Модульное строение системы.
- 2.3 Процессы в системе.
- 2.4 Целенаправленные системы и управление.

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. Это своеобразная азбука дисциплины. Эти определения уже достаточно устоялись, они приводятся во всех учебниках по системному анализу независимо от области их применения.

2.1.1 Элементы и связи в системе

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

Например, мы изучаем таксационное строение древостоя. В данном случае элементами системы будут деревья, то есть материальный объект. Не суть важны 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 так далее, то есть 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 (рисунок 2.1).

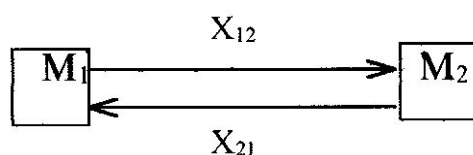


Рисунок 2.1 – Схема простейшей связи между элементами в системе

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

Системой называется совокупность элементов, обладающих соответствующими 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 наличия 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 сердце сами по себе не обладают свойствами и функциями, присущими всему организму, то есть последний является сложной системой, состоящей из отдельных органов, но представляющей качественно новое образование.

Теперь можем записать определение системы в виде кортежной, то есть последовательной записи в виде перечисления:

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

где 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.

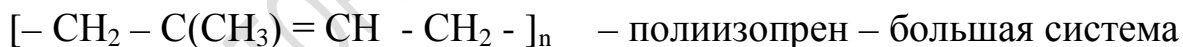
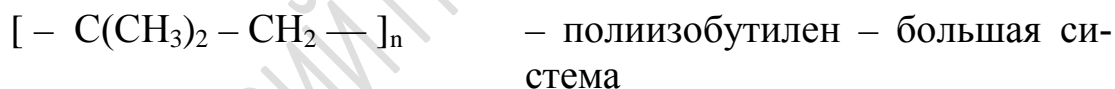
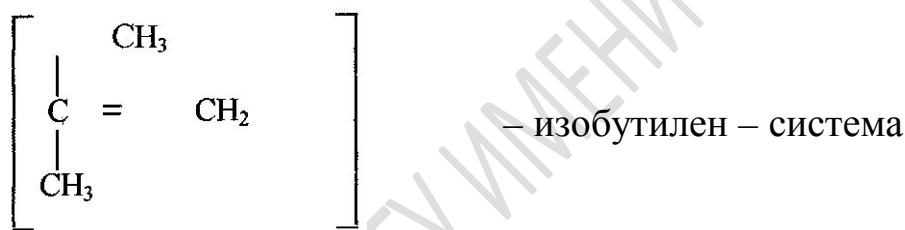
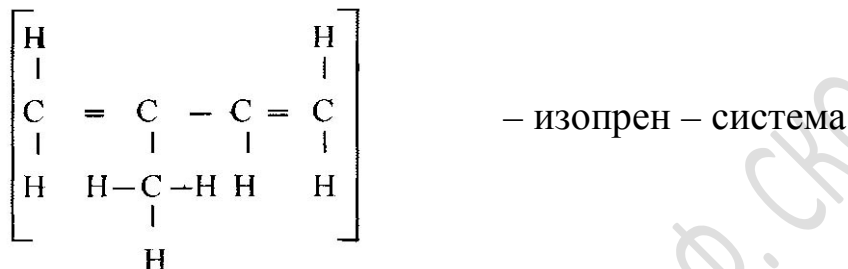
Есть формы записи, включающие более 10–12 членов кортежной последовательности, соответствующие различным свойствам системы. Подобные примеры видим в капитальных трудах по системному анализу.

В свете современных знаний 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 так далее – элементами. И так без конца.

Примечание – На сегодняшний день мы не можем с достоверностью сказать, являются ли системой даже кварки. Все остальное с определенных позиций можно рассматривать как систему. Останутся ли кварки только элементом системы мироздания или тоже станут системой? Похоже, что результаты, полученные за последние годы на большом андронном коллайдере и доступные широкой общественности, приводят к пониманию кварков как системы.

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, так как 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):

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

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 в деятельности внутри системы при сохранении значительной роли технических средств. Так, цех, участок, сборочный конвейер могут быть как автоматизированными, так и автоматическими, то есть 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. Но это относится только к процессу высадки сеянцев, а весь комплекс следует считать автоматизированным, так как зарядка сеянцев проводится вручную. Чисто автоматическая система сегодня считается предпочтительной при относительно простых работах или отдельных операциях. Тот же процесс непосредственной высадки сеянцев удобнее и надежнее выполнять в автоматическом режиме, что и достигнуто в современных лесопосадочных машинах.

Для более сложных систем целесообразно создавать автоматизированную систему, то есть с участием в ней автоматических

устройств и человека. Так, как упомянуто выше, 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, то есть 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.

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:

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

где Σ^{\wedge} – автоматизированная сложная система;

M^T – технические средства (очень часто компьютер);

$M^{\text{ч}}$ – решения и другая активность человека;

M' – остальные элементы в системе.

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

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 вышеописанное создание 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, кто выполняет полевые работы в лесу (инженеры-таксаторы, техники, рабочие), и специалисты, которые обрабатывают данные на компьютере, и оформители (переплет и другое), и управленцы, и работники материально-технического обеспечения и т. д. Результатом их работы является проект организации и развития лесного хозяйства 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) и 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 автор снова возвращается к этим событиям (вспомним, что именно этот прием использовала ве-
чером 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 $\{X\}$, то есть

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

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 (рисунок 2.2).

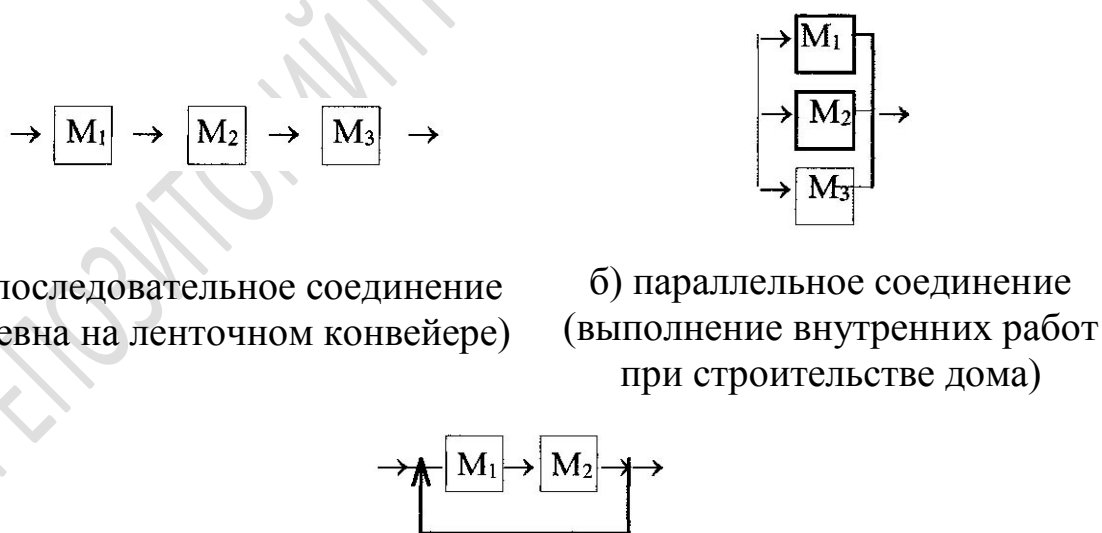


Рисунок 2.2 – Типы связей в системе

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, то есть воздействие на искомый элемент (или группу элементов) изменяется. Мы или станем делать борозды мельче, или начнем создавать валы, или откажемся в заданных условиях создавать лесные культуры.

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

Обратная связь незаменима при разработке компьютерных программ. При организации цикла, используют условные переходы, то есть 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, то есть 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 данной 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 так далее, 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. Лесхозы делятся на лесничества, а последние на мастерские участки и обходы.

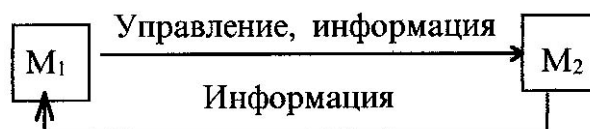
Другой пример – это составление лесоустроительного проекта. Здесь выделяем полевые и камеральные работы. В пределах последних – обработка информации, ее обобщение, оформление, сдача заказчику.

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

Иерархия. Это такая структура системы, где есть подчиненность, то есть 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 (рисунок 2.3).



M_1 – система высшего порядка; M_2 – система низшего порядка

Рисунок 2.3 – Иерархическая связь в системе

В примере на рисунке 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, так как 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 так далее, но последний – над первым. Например, директор – заместитель – начальник отдела – инженер – машинистка.

Структуры доминирования бывают разные. Но основных, важных для практики иерархических структур всего две – древовидная (веерная) и ромбовидная (рисунок 2.4). Примером древовидной иерархической структуры служит ПЛХО: 1-й уровень – генеральный директор, 2-й уровень – его заместители, 3-й уровень – отделы, 4-й 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 представлять в элементы обоих уровней.

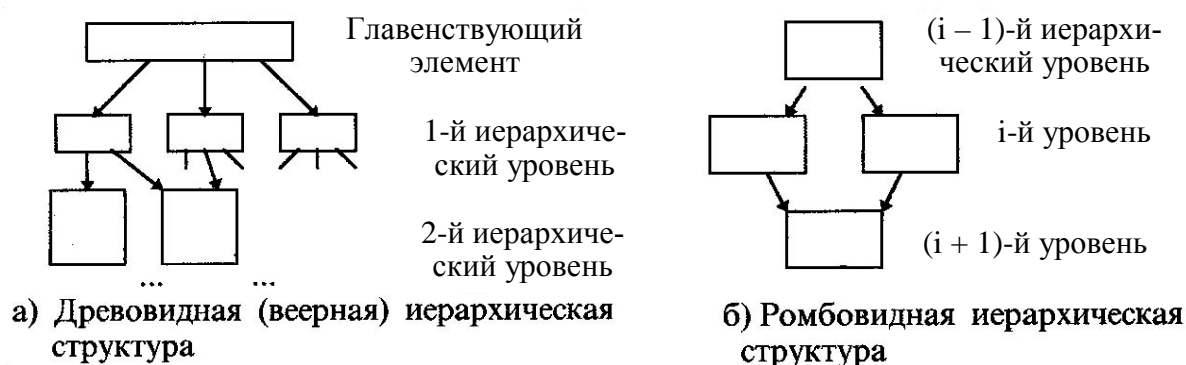


Рисунок 2.4 – Иерархические структуры сложной системы

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 членам партии была явна ошибочность политики руководства, ничего не делалось для улучшения положения, 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.

Например, строгая иерархия в стае гиен сдерживает безудержное увеличение стаи, чреватое негативными последствиями, и обеспечивает передачу потомству самого ценного генома.

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 «несистемой», которую назовем внешней средой.

Выделим следующие связи элементов системы:

а) связи, которые рассматриваемый элемент испытывает от других элементов системы и «несистемы»;

б) воздействия, которые он оказывает на другие элементы системы и «не систему».

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

Выходы элемента зависят от входа и внутреннего строения элемента, то есть 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, делаем прореживание. 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 так далее) и получили искомый результат – узнали, как изменился запас древостоя или его прирост, то есть 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 так далее, может рассматриваться как модуль.

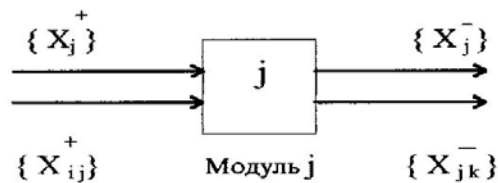
Модульное построение системы, как правило, определяет ее декомпозицию. Нередко оно определяет и структуру. Хотя понятие «модуль» в системном анализе и смежных с ним дисциплинах еще шире. Деление системы на модули – это удобный и наиболее распространенный прием работы с искусственными системами, включая 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 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 как системы управления отраслью, так и системы управления 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 (рисунок 2.5).



X_j^+ – 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»

Рисунок 2.5 – Схема модуля j

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:

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

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 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: синонимами 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 «информация».

Ранее мы определили, что связи (воздействия) бывают трех 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, 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-го размера шрифта содержит примерно 3 000–3 200 знаков, то есть печатный лист – это примерно 12–13 страниц. На телевидении и радио учет информации иногда ведут в минутах. Например, одна минута рекламы на телевидении, особенно в больших государствах, в «час пик», то есть во время наибольшего рейтинга, стоит многие десятки

тысяч долларов и даже больше, то есть здесь идет учет времени и денег. В лесхозе единицей информации может служить количество выданных разрешительных документов на рубку леса, то есть количество вырубаемых лесосек. Варианты учёта информации почти 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 над исполнением, сроками и формами 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, путей 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, то есть сократить длину потока. Кстати, много раз проводились реформы по сокращению отчетности, другого документооборота, но он все равно остается большим.

Другой пример из области таксации леса. Запас древесины можно получить разными методами: путем сплошного или выборочного пересчета, по модельным деревьям, ксилметрическим способом и т. д. Но самый короткий путь для целей лесоинвентаризации, требующий сбора наименьшей информации при соблюдении достаточной точности, – использовать стандартную таблицу сумм площадей сечений и запасов при полноте 1,0, где задействована связь «высота (Н) – запас (М)б», то есть $M = F(H)$, 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, то есть 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, то есть в системе снова происходили изменения. Иногда функции инженера по лесовосстановлению расширяли, добавляя ему работу по мелиорации (осушению) лесов, то есть связи этого элемента системы расширяли. 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 в прежнее время отказалась от деревообработки. Но жизнь показала, что в функции лесхозов должна входить работа по сбору «лесного урожая», то есть по проведению рубок главного пользования с последующим распоряжением заготовленной продукцией. Правда, есть и другие мнения, но сегодня лесхозы работают комплексно.

В России функции лесхозов трансформировались настолько, что в обычном нашем понимании лесхозов там практически не осталось. Заготовка древесины перешла к арендаторам, охрана от пожаров – к МЧС, лесная охрана (лесники) практически отсутствует 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, то есть 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 (харвестеров): иностранного или отечественного производства. Это процесс, заключающийся в том, что машинами срезается дерево, выносится, укладывается. Харвестеры обрезают сучья и раскряжевывают 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, то есть 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 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.

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 y , описывающую конкретные значения этих характеристик:

Все множества упомянутых возможных величин обозначим через Y : $y \in Y$. 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, то есть:

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

Этому же процессу будет соответствовать отображение множеств

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

Процессы в системе могут играть различную роль. Так, в системе разработки лесостроительного 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 лесостроительного 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 проекти-

руются 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 станут 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, то есть 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 микроуровнях. 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, неистощительности и относительной равномерности 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, то есть 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, выпуск техники, 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, то есть 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), обеспечить подготовку лесосеки к посадке лесных культур удастся с трудом, так как это требует дополнительных усилий и затрат. Еще сложнее идет дело, если рубку леса и его восстановление проводят разные ведомства, скажем, лесхоз и леспромхоз, подчиненный концерну «Белесбумпром». Лесозаготовители не хотят оставлять низкие пни, если лесозаготовки ведутся зимой, так как при глубоком снеге сложно и дорого отгрести снег от пней. Эти же проблемы (трудозатраты и стоимость) возникают при очистке лесосек и т. д. Все это увеличивает 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 то же 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, а для сохранения почвенного плодородия порубочные остатки следует оставлять на лесосеке. 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, что выражается в принятии согласованных директивных документов, где в меру возможности (подчеркнем это – в меру возможности) учитываются интересы всех заинтересованных сторон. Но выдерживается этот компромисс не всегда, и только иерархия в системе управления позволяет соблюсти правила лесозаготовок, а также в той или иной мере интересы 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 не-

ясности, 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, приведя случаи из своего опыта.

Пример выполнения первого требования – знать пределы того, чем мы распоряжаемся. После окончания института автор данного учебника 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 сортаменты 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. 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 почти все лесоводы республики. Он был руководителем «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 сможет 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, даже 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 ругань 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 управленческое решение, ввести новые управляющие воздействия (то есть 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 желаемая 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, обеспечивает наличие конкуренции, что вынуждает постоянно модернизировать технику и технологии. Одновременно поддерживается сильная социальная политика, то есть провозглашена и реализуется рыночная, но социально ориентированная экономика. Мы видим, что на этом пути

достигнуты большие успехи: наше государство давно превзошло уровень, имевшийся в СССР, есть устойчивый ежегодный рост экономики, обеспечена продовольственная и иная безопасность. Развиваются наука и образование, имеем рост реальных доходов населения и т. д.

Сделаем символическую запись введенных понятий.

Общий вид процесса St_0t с управлением и из некоторой возможной совокупности U есть

$$(St_0t)^u (y(t_0)) = y(t,u); y \in Y, u \in U \quad (2.10)$$

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

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

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 y :

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

Допустим, что существует (или он задан) момент t_G и имеется состояние характеристик y_G , позволяющее достичь цели f_G . Пусть состояние y_G может быть достигнуто управляемым процессом $(St_0t)^u$. Тогда управление U_G , позволяющее выполнить цель f_G , определяется как часть триады (t_G, y_G, u_G) , удовлетворяющее соотношениям $(St_0t)^u$.

$$(St_0t)^u (y(t_0)) = y(t,u), f(y) = f_G; y \in Y, t \in T, u \in U \quad (2.13)$$

Перейдем к примерам.

Рассмотрим процесс подачи семян в лесопосадочной машине. Под параметром процесса t понимаем место семени в лентопротяжном механизме, то есть в кассете. Характеристикой процесса $y(t)$

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, то есть 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, то есть высаживание, скажем, 2 000 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 (рисунок 2.4 (а)).

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, микропроцес-

соры, 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 названных 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.

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

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СЖС



Рисунок 2.6 – Схема конструирования лесопосадочной машины

3 ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

3.1 Формулировка и обсуждение принципов.

3.2 Использование принципов 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 диалек-

тический подход, то есть 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 данном случае понятие конечной цели заменяют понятиями основ-

ной 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, неистощительности и относительно равномерного пользования лесом при сохранении и приумножении экологических функций леса, то есть 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 1939 г., то есть примерно на 2/3 ее современной территории, доходя в отдельные годы до 25 млн. м³. Вспомним, что ежегодная расчетная лесосека в настоящее время составляет около 11 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, то есть приспевающие древостои называли спелыми, но продолжавшиеся избыточные вы-

рубки привели к тому, что к 1992 году мы имели лишь немного более 2 % спелых лесов при норме 15–20 %. Негативные последствия подмены главной, научно обоснованной цели лесной комплекс Беларуси ощущает до сих пор: из-за нарушений возрастной структуры лесов. Так, при среднем приросте в 30 млн. м³ мы вправе вырубать лишь 15–17 млн. м³. Увеличение вырубки 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 даже 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 результаты 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, то есть 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 тесно взаимосвязаны, и иногда даже их можно объединить 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, то есть 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), состояния и густоты подлеска, почвенного 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 встречаются часто. Приведу пример из собственной практики. Работая лесничим в Комаринском лесхозе в начале 60-х годов прошлого века, мне несколько лет подряд 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 55-летнее насаждение. 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 так далее) и получает конечный результат, который отражен в отчете. 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, то есть 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 выделение новых уровней иерархических систем справочника с высшим иерархическим уровнем – Минлесхозом – обычно заканчивается. Дальнейшее снижение уровня иерархических систем 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, то есть 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, то есть 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, то есть 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, изменчивости 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, 24, 27, 31, 34), серия спутников Союз-Салют и т. д. Примером создания системы с большим запасом возможностей для развития служат сортиментные таблицы, разработанные Ф. П. Моисеенко в 1938 году. Эти таблицы применяясь более 70 лет просто совершенствовались при изменении стандартов и выдержали 4 издания.

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 харвестерах. Зарубежные бензопилы адаптированы по видам рубок, то есть на основе общей модели сделаны разные модификации. Шведский или немецкий лесоруб никогда не возьмет на прореживание бензопилу, которой он работал на рубках главного пользования, так как 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, то есть 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. Так, таблицы хода роста, составленные на лесотипологической основе, не могли достаточно точно отразить продуктивность древостоев для целей лесного учёта из-за наличия двух уровней производительности в пределах типа леса. В то же время комбинация таблиц хода роста, разработанных на бонитетной основе с указанием конкретного типа леса для данного уровня производительности, снимает эту проблему. Такие таблицы хода роста можно использовать и для целей учёта леса и для ведения хозяйства.

Недостаточно ресурсов для дальнейшего развития имели товарные таблицы Н. П. Анучина, вышедшие в 1931 году. Когда исследованиями А. Г. Мошкалёва [41] было доказано влияние средней высоты древостоя на процент выхода деловой древесины и разделение её по крупности, то такие таблицы для Беларуси пришлось разрабатывать заново [44].

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 120–150 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 (главствующего

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, то есть систему человек-машина. Ясно, что она полностью централизована, так как управляемый модуль (современный массовый 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, то есть командуют воспитатель и учитель, хотя ситуация уже не столь однозначная, как в предыдущем примере. Какая-то степень свободы есть и у детей, то есть 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 пути человека, который принимает решение, подстерегает много трудностей. Даже компетентный руководитель не всегда сможет принять правильное решение, так как 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 неэффективно.

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 заготовливать 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 проверка 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, оповещая 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 пожарищ. 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. В книге писателя А. А. Бека «Новое назначение», 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, то есть методом проб и ошибок. Принцип действия лекарств, то есть структура системы, долго оставались неизвестными. Такой подход приносил пользу, хотя были и значительные издержки, когда лечили совсем не тем. Сегодня мы периодически наблюдаем случаи реального излечения болезней экстраенсами 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 другое, 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, то есть 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 «крайними»), и рассмотрение проводить для них. При этом мы определяем некоторое «граничное» поведение системы и на основе его можем сделать выводы о ее поведении вообще. Этот способ обычно называют методом гарантированного результата (оценки).

Пример. Проводим выращивание семян 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. При этом гарантируется обеспечение семян 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 так далее), устройства по безопасности полетов, хотя последние реализуют далеко не всегда. 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 так далее) 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 так далее. Есть технологии абсолютно точной таксации древесины, например ксилонетрия, 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, то есть ориентируемся на средние многолетние количество осадков, мы можем подстраховаться системой на случай засухи использованием дополнительных средств, предназначенных для других целей: пожарные машины, жижеазбрасыватели 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 способ-

ность, 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 так далее: их нередко убивали. В области науки можно сказать, что если у исследователя нет нужных реактивов и оборудования, то бессмысленно заниматься генной инженерией, так как 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. Но такое решение бессмысленно – у нее нет и не будет вертолета, 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. Например, 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, то есть отражают отношения, сильно абстрагированные от конкретного содержания прикладных проблем. Такое знание нетипично для техники и естественных наук, в том числе и для лесного хозяйства. В системе управления лесным хозяйством обычно используют утверждения и описания, пригодные для непосредственного использования.

Поэтому, применяя методы и принципы системного анализа, которые являются достаточно общими, для конкретных ситуаций, систем, 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 и лесном хозяйстве.

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 небес-

ной 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, по данным учёных, 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 понизилась 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 хотя система движения планет вокруг Солнца, и полностью определена, но случайности происходят.

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 – на 40–50 % (иногда и на 90 %) определяет ее решение.

При изучении природных объектов, пожалуй, самое главное – правильно поставить задачу, то есть определить, что именно надо изучать. Допустим, мы хотим исследовать сосново-березовый древостой. Сразу возникают вопросы: как изучать? Рассматривать ли отдельно или вместе сосну и березу? Делить 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, то есть 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!». 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. Известно, что именно системное мышление, широкая эрудиция, естественно, и большой талант, позволили выдающимся ученому Н. И. Вавилову сделать свои знаменитые открытия: определить центры происхождения культурных растений, изложить закон гомологичных рядов и многое другое.

Очень много примеров можно привести из лесного дела. Возьмем воззрения корифея лесоводства Г. Ф. Морозова на лес и лесную типологию, изложенные в его знаменитой книге «Ученье о лесе». Хотя термин «системный анализ» ученый не употребляет, но весь его труд пронизан именно системным подходом. В качестве еще одного примера можно привести труд М. М. Орлова «Лесоустройство».

В этом же ряду стоят труды таких выдающихся советских ученых лесоводов и биологов, как В. Н. Сукачев, И. С. Мелехов, Н. П. Анучин, В. В. Антанайтис, К. К. Буш, П. М. Верхунов, С. А. Дыренков, В. В. Загреев, И. К. Иевень, Л. А. Кайрюкштис, В. В. Кузьмичев, К. Б. Лосицкий, Н. А. Моисеев, А. Г. Мошкалева, Е. С. Мурахтанов, К. Е. Никитин, А. И. Писаренко, Н. Н. Свалов, Д. П. Столяров, М. Е. Ткаченко, А. В. Тюрин, В. А. Усольцев, В. С. Чуенков, А. В. Швиденко. Ссылки на их труды приведены в литературе.

Сюда же следует отнести и труды белорусских ученых: Ф. П. Моисеенко, В. К. Захарова, И. Д. Юркевича, Н. Д. Нестеровича, Ф. Т. Костюковича, В. С. Гельтмана, Л. Т. Крушева, Д. С. Голода, В. С. Романова, В. Е. Вихрова, В. К. Поджарова, В. А. Ипатьева, В. И. Парфенова, О. А. Атрощенко, А. М. Кожевникова, В. Е. Ермакова, И. Н. Рожкова, В. Б. Гедых, Л. М. Сапегина и многих других.

Принципы системного анализа очень удобны для критики суще-

ствующих 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 и научных исследований.

Ф. СКОРИНЫ

РЕПОЗИТОРИИ

4 МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- 4.1 Формирование общих представлений о системе.
- 4.2 Углубленное изучение системы.
- 4.3 Моделирование системы и ее сопровождение.
- 4.4 Особенности создания новой системы.

4.1 Формирование общих представлений о системе

Усвоив основные определения системного анализа и принципы системного подхода, можно переходить к методологии системных исследований. Обобщенная методика их 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 так далее. 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 и имеют противоречия 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 лесохозяйственного

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. Затем рассматриваем взаимодействие между частями системы. Смотрим, каковы они: двухсторонние взаимодействия или преимущественно односторонние.

Здесь надо обратить внимание на системообразующие факторы, то есть 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. За последние годы в лесхозах созданы лесопункты для заготовки древесины по главному пользованию. Модулем можно считать отделы лесхоза. Ключевую роль в нашей системе играют лесничества. Именно от их работы зависит основной результат деятельности лесхоза.

Нарисуем схему системы «лесхоз» (рисунок 4.1). На приведенной ниже 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 так потом 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 так далее. Устанавливаем, управляемы ли процессы и способствуют ли они осуществлению системой своих главных функций. Для управляемых систем уясняют основные управляющие воздействия, их тип, источ-

ник и степень влияния на систему.

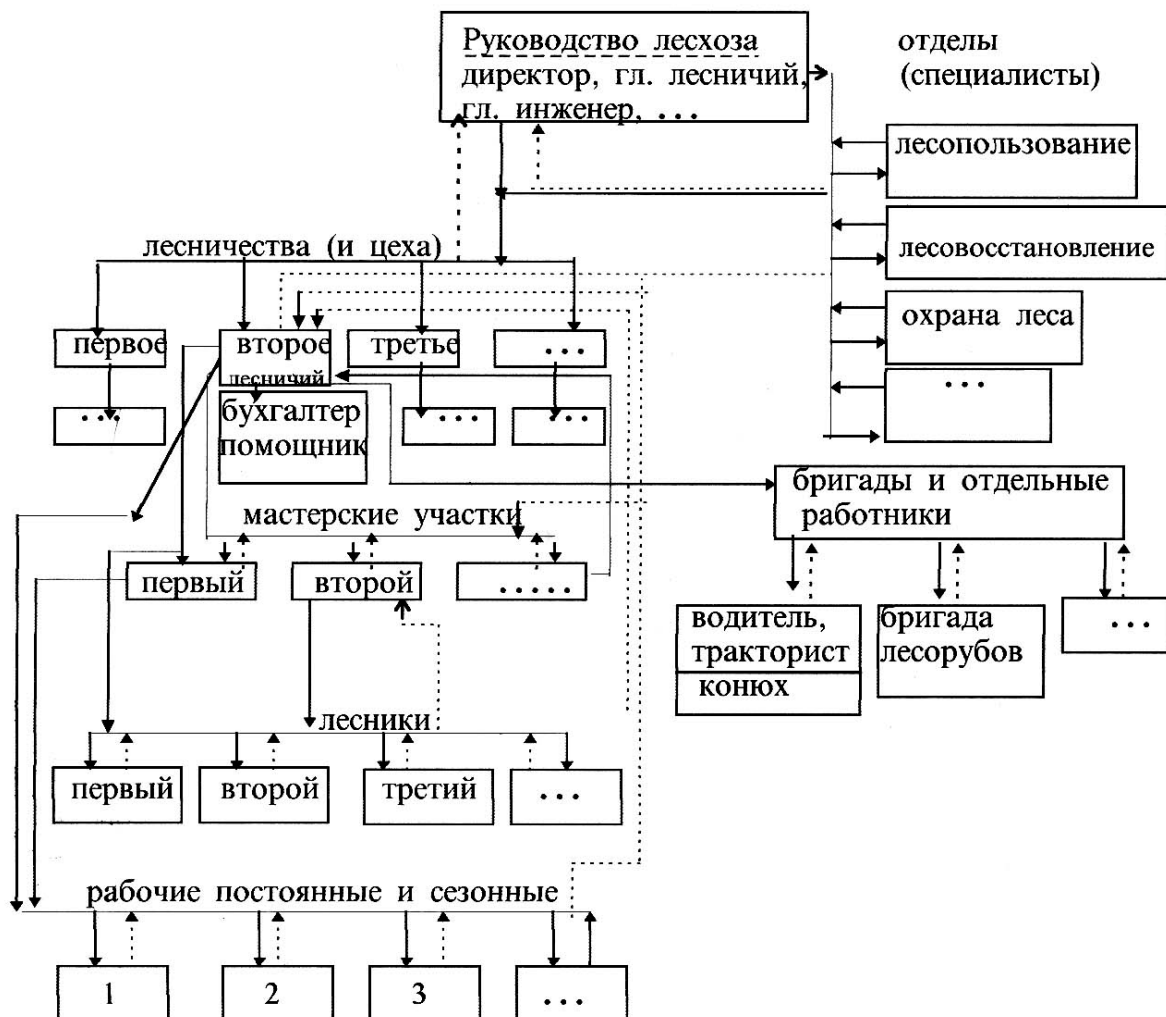


Рисунок 4.1 – Схема системы «лесхоз»

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 не войдут охрана и воспроизводство фауны, лесохозяйственное хозяйство, рекреационное обустройство лесов и др.

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, в лесозаготовках и в переработке древесины, которые ведутся круглый год.

Основные управляющие факторы в системе «лесхоз»: проект организации и развития лесного хозяйства, текущий план, устав пред-

приятия, 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 др.

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

На этой стадии изучают основные внешние воздействия на систему – входы. Устанавливают их тип, то есть являются ли они вещественными, энергетическими, информационными. Определяют степень входа каждого влияния на систему, основные их характеристики. Фиксируют границы системы, находят элементы «несистемы», 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 «несистемы», 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 Президенте 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 др.

Степень влияния большинства из них на работу лесхоза высокая. Иерархия этого влияния соответствует месту каждого элемента «несистемы» 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, но от уровня реализации древесины и другой продукции лесхоза зависит его экономическое состояние.

Основные элементы «несистемы», на которые направлены основные выходные воздействия системы «лесхоз»: население (потребите-

ли), предприятия, ПЛХО, местная администрация и контролирующие органы и т. д. Таким образом, система «лесхоз» зависит от многих элементов «несистемы» (каких?), в то же время имеет устойчивость, основанную на использовании местного сырья, ее необходимости людям (народному хозяйству), наличию подготовленных местных кадров и т. д.

Рассмотрим теперь взаимодействие естественной системы с «несистемой». 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 «несистемы» 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 нее оказывают дикие парнокопытные животные: лоси, олени, косули, кабаны. Их очень высокая численность ведет к деградации лесных биоценозов. В лесах Дальнего Востока России значительный урон лесным насаждениям наносят мышевидные грызуны, почти целиком уничтожающие семена и плоды деревьев и кустарников.

К антропогенному влиянию «несистемы» 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, как должно. От погоды зависят условия лесозаготовок и вывозки древесины.

Второе – политическое положение, законодательство и т. п. 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 «несистемы», на будущее потомство: его выживаемость, условия развития и т. д.

Кадровые и социологические проблемы часто тоже бывают не всегда определенными: отношения в иерархии начальник – подчиненный и т. д. Все это нам надо учитывать, планируя получить желаемый выход системы, то есть, 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, приведенных ниже.

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, так как 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 «несистемой». 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 80–90 тыс. га, имеет 100–150 лесников, 50–70 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.

Проанализировать же 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 900 лесничеств, проектные учреждения: «Белгослес», «Белгипролес» и другие организации и службы. Всего в системе «лесное хозяйство» трудятся около 40 тысяч работников. Отсюда вытекает, что ранжирование элементов в системе «лесхоз» просто и идет по иерархии: директор – лесничий – мастер –

лесник с разветвлением: инженер, рабочий и т. д.

Деление системы для ее детального анализа отдельными исполнителями будет целесообразным при рассмотрении или создании более сложных чем лесхоз, систем. Ранжирование элементов системы необходимо и при решении исследовательских задач, связанных с природными объектами.

Если рассматривать систему управления отраслью (пусть того же лесного хозяйства), то руководитель может успешно владеть только общими сведениями и в случае необходимости углубляться в отдельные частности. Например, в Министерстве могут рассмотреть какое-либо крупное нарушение или достижения 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 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 – геоботаники, 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, то есть стареют. От этого система (автомобиль) приобретает нежелательные свойства: увеличивается расход топлива, снижается надежность, безопасность и так далее, вплоть до остановки. Поэтому через какое-то время предусматривается замена деталей и узлов, то есть 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 так далее. 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, то есть наша автомашина (система) предназначена работать в условиях случайного характера выходов. Но все же иногда главные закономерности нарушаются, то есть детерминированность системы вдруг не проявляется, и в самый нужный момент автомобиль не заводится, или, что 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 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 др.

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 управления 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 так далее) 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 по 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 над 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 «несистему», то есть 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 лесоустроительным

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. Употребление 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, то есть на внешнюю «несистему». 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 и ее сопровождение

В настоящей работе мы подробно не касаемся вопросов моделирования, разработки моделей и других. 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 использовании совокупности моделей для описания системы опять повторяется ее рассмотрение с целью удобного анализа свойств сложной системы. С помощью моделей необходимо сделать 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: $H = f(D)x$, то есть зависимость между высотой и диаметром: $F = f(H)x$ – связь от формы ствола с высотой: $G, M = f(H, \Pi)$, то есть величину суммы площадей сечения или запаса в зависимости от средней высоты и относительной полноты и др. Затем устанавливаем более сложные многомерные зависимости: например $F = f(H, \Pi, q^2)$, $D = (A, B, \Pi)$, то есть зависимость среднего диаметра от возраста древостоя, показатели 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 др. Лишь после установления всех более простых связей проводим их обобщение, составляя таблицы хода роста, где все закономерности между таксационными показателями должны быть смоделированы и взаимоувязаны.

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, то есть 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, считаем, 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 прекращения. Тогда 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. Достоинства общих моделей 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, то есть 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, то есть $H = f(A)$.

В лесном хозяйстве большое применение находят индуктивные модели, то есть те общие законы и закономерности, которые выведены из частных. К ним относятся создание принципиально новых моделей, а также эмпирическое моделирование, когда без достаточных научно-теоретических основ 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 материале 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 лесов. Более интенсивный рост сосны, выражающийся в более высоком классе бонитета этой породы против ели, компенсируется у последней более высокой полнодревесностью и густотой древостоя.

В моделировании сложных систем надо найти грань разумной достаточности. Часто не нужны чрезмерная точность и подробность, так как 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. 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-го, иногда 4-го порядка.

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 лесопосадочной машины только воплощение ее в металле и испытание на полигоне позволяют 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, взятом из опыта работы Института леса, 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, так как 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 и 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 стали 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. Иногда новые условия требуют функции системы сократить в целях экономичности.

Так, первоначально лесопосадочная машина, созданная в Институте леса, 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 нераскорчёванных лесосеках.

Если какой-то трактор (скажем, 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, то есть 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 к совершенно новой. Как и при моделировании по аналогии, здесь полезно улучшать некоторый ранее созданный образец, экономя на этом средства, силы и время.

Включение системы элементом в некоторую макросистему требует пересмотра основных ее связей с «несистемой». 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 др.

Иногда выдвижение требований к системе со стороны макросистемы может привести к необходимости пересмотра всех основных системных понятий (выходы, управление и так далее) 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.

4.4 Особенности создания новой системы

Создание новых систем делится на стадии проектирования (предварительного, детального), собственно создания системы и ее эксплуатации. Последняя бывает опытной, опытно-производственной и производственной.

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, формирование 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 так далее, 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 1 000 штук сеянцев 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 др. Достаточно сложным являются создания новых систем в науке: построение новой теории, вывод нового закона и даже новой закономерности. Здесь необходимо учитывать много факторов и, главное, определить их взаимосвязь и взаимозависимость.

Например, создание системы строения древостоев, начатое еще в XIX веке учеными Вейзе, Фекете и в России А. В. Тюриным, Ф. П. Моисеенко, В. К. Захаровым, М. Л. Дворецким, М. В. Давидовым, начиналось с выявления основных закономерностей распределения числа стволов по диаметру в чистом одновозрастном древостое. Затем эта система была углублена и расширена трудами К. Е. Никитина, В. В. Антанайтиса, А. Г. Мошкалева, П. М. Верхунова, О. А. Атрощенко, В. Ф. Багинского. Она стала намного сложнее: в нее были включены ряды распределения не только по диаметру, но и по другим таксационным показателям: высоте, коэффициенту формы q_2 , сумме площадей сечения и т. д. В систему «строение» вошли модели зависимости между таксационными показателями. Она включает уже не только чистые, но и смешанные древостои. Учитывается влияние на характер строения возраста, полноты, происхождения древостоя и других факторов.

В целом система «строение древостоя» строится как научная теория. Она имеет теоретическую и практическую цель, то есть является целенаправленной. В теоретическом плане система «строение древостоя» вскрывает те законы природы, по которым распределяются деревья в лесу как в природной совокупности. В практическом плане она позволяет прогнозировать (и планировать) выход сортиментов по их размерам и сортам для использования в народном хозяйстве, то есть является теоретической основой товаризации лесного фонда. В системе заложен большой потенциал развития, который еще далеко не использован.

Конечно, приведенная схема очень огрублена, в реальной прак-

тике все бывает сложнее и труднее, но в любом случае изложенных принципов придерживаются все разработчики новых систем.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ И РЕШЕНИЙ

5.1 Процедуры, операции, действия и их основные характеристики.

5.2 Локальные цели и связи между ними.

5.3 Система действий, операционные модели.

5.4 Запись структуры действий.

5.1 Процедуры, операции, действия и их основные характеристики

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.

Для уяснения возникающих здесь вопросов необходимо ввести несколько новых понятий. Первое из них назовем процедурой, и дадим ее определение.

Процедуры – это 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–четырёх 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 (рисунок 5.1).

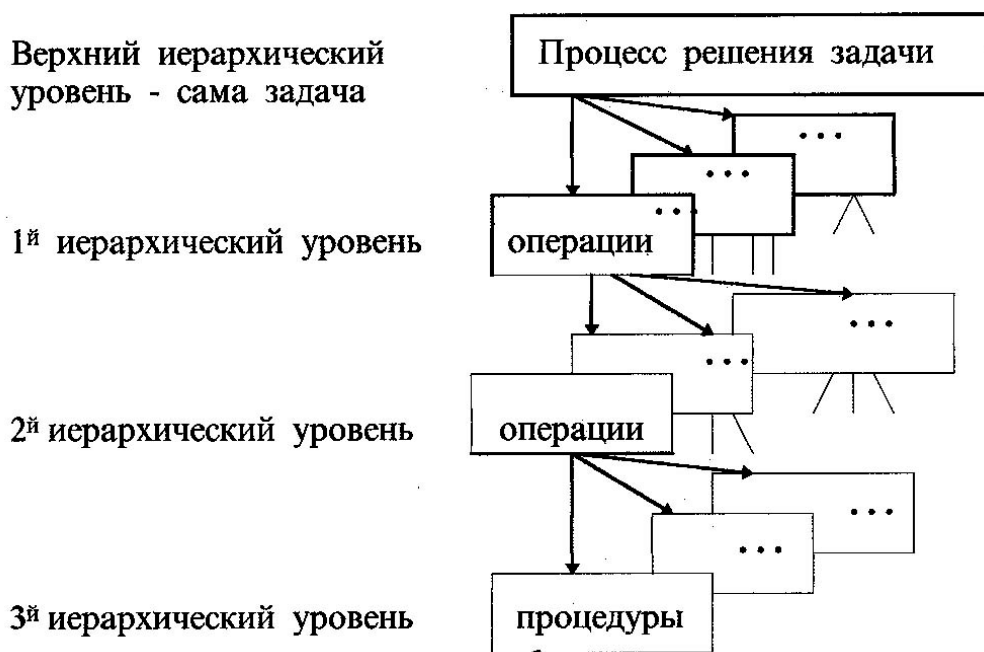


Рисунок 5.1 – Деление задачи на операции и процедуры

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 (рисунок 5.2).

На рисунке 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, то есть 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 формуле (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 учебнике 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.

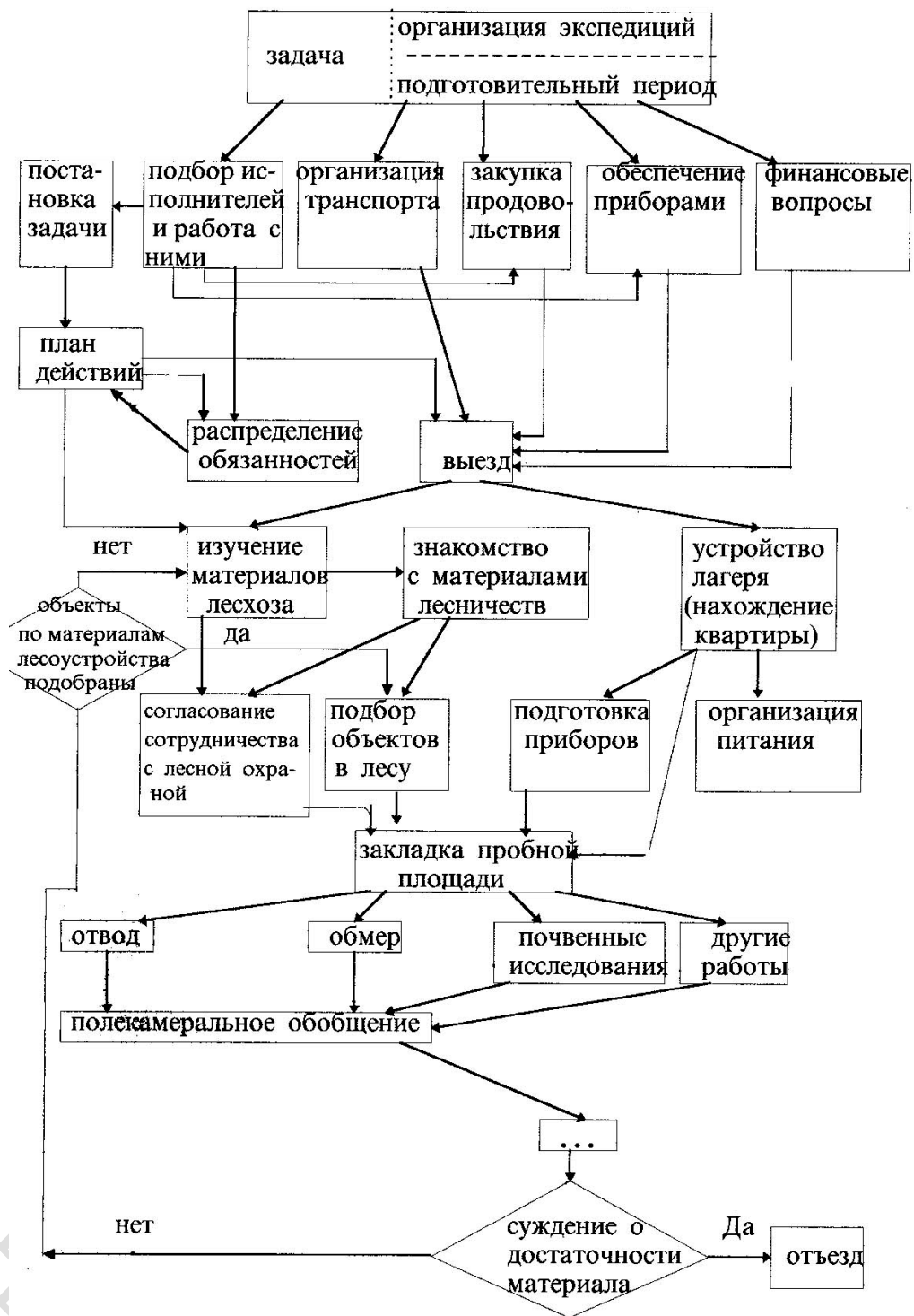


Рисунок 5.2 – Иерархическое деление задачи по организации работы научной экспедиции по сбору экспериментального материала для составления таблиц хода роста древостоев

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 ин-

формации 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.

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?», то есть, каков результат действия.

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

Способ выполнения действия, то есть 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 A_{2-3} или B_{2-3} .

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 предпо-

читительней.

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. Размещение сеянцев 2,0 м × 0,7 (густота 7,1 тыс. шт. / га). Посадку можно сделать как вручную, так и разными лесопосадочными машинами, но машиной 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 (рисунок 5.3).



Рисунок 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 др.

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, то есть 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 от-

правит 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 дешев и удобен, 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», «Хуксварна» 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 их эксплуатации и ремонта. В этом случае выбор можно сделать путем практического использования каждой из них, то есть 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, то есть 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.

Характерным примером подобной постановки задачи, когда практически пренебрегли третьим принципом в характеристике действий, то есть не оценили способ выполнения действий, реализуемо ли оно на практике, является программа построения коммунизма к 1980 году, принятая в 1961 году; программа обеспечения жильем всех граждан к 2000 году (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. п. 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 профессор 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 др.

5.2 Локальные цели и связи между ними

Нарисуем наиболее распространенную схему организации дей-

ствий по решению типичной задачи системного анализа (рисунок 5.4).

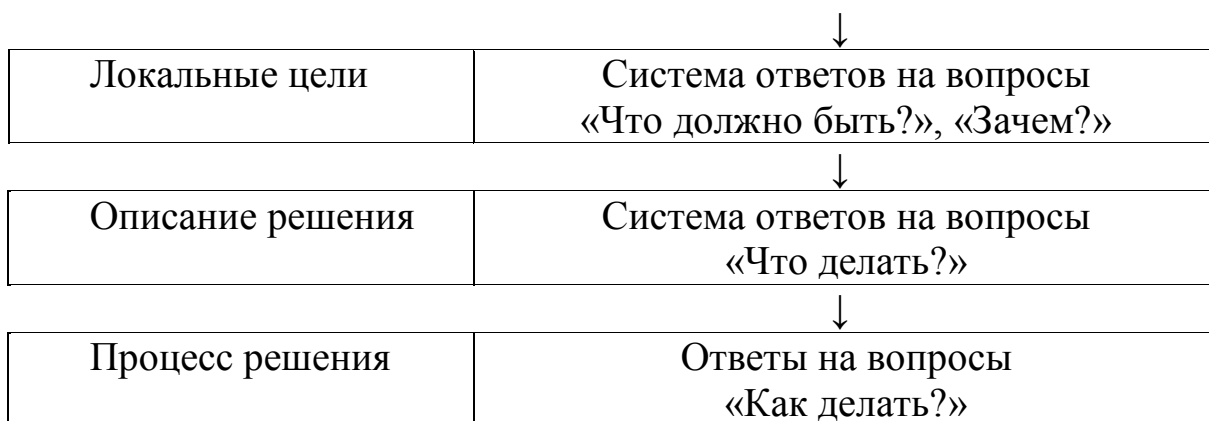


Рисунок 5.4 – Типичная система действий по организации решения задачи системного анализа

На рисунке 5.4 видны три уровня организации решения.

Вспомним, что нечто подобное мы уже рисовали, когда рассматривали способы организации действий (рисунок 5.3, схема «в»).

Эту схему (рисунок 5.3, «в») мы признали наиболее строгой с точки зрения формальной логики.

На рисунке 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 др. Все эти действия зависят друг от друга, вытекают одно из другого. Так, если не собрать семена, то не сможем вырастить посадочный материал и др. 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 потребуется выкопка дичков или покупка семян 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 так далее.

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 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, неистощительного и относительно равномерного 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, то есть 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 так далее. Сюда же входят разные согласования и увязки: с земельным балансом, с заказчиком и другими.

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 натуральных 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, то есть 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 др.

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 составленным правилам проведения лесоустройства, которые представляют собой 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.

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, то есть

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

Индексы j, u локальных целей для простоты опущены.

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 так далее.

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), то есть 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, то есть аналогичным образом вычисляем H_2 . Повторение происходит пока не решим задачу, то есть найдем H_n , для последнего аргумента, то есть 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^2 (зачеты), но дальнейшее решение задачи g^1 (усвоение знаний) зависит от того, сдан ли зачет, то есть выполнена ли цель g^2 , так как иначе неуспевающего студента отчислят и усвоение им знаний на этом окончится. Обе цели решают глобальную цель – подготовку специалиста в определенной области, а если грубее, получение диплома.

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

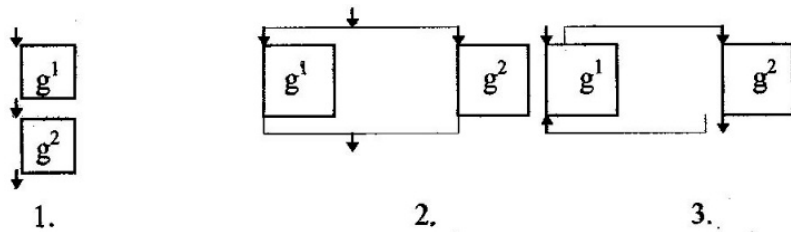


Рисунок 5.5 – Способы достижения двух целей

На рисунке 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 (рисунок 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 (рисунок 5.6).

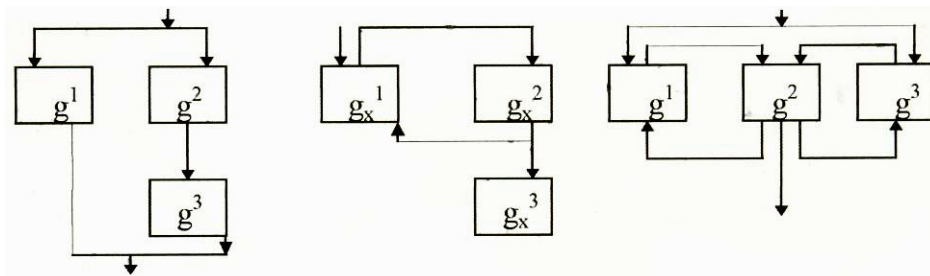


Рисунок 5.6 – Способы достижения трех целей

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, неистощительного и относительно равномерного 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 использовании и лесовосстановление; получение высококачественных деловых сортов и сроки сокращения выращивания древостоев и др.

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

пользования очень сложная и пока не имеет абсолютно корректного и окончательного решения.

5.3 Система действий, операционные модели

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 рисунок 5.4). Эти ответы составляют описание действий.

Мы уже отмечали, что существует тесная связь между содержанием верхней и средней ячеек (рисунок 5.4), то есть между системой ответов на вопросы «Что должно быть?» или «Зачем?» с системой ответов на вопрос «Что делать?», то есть 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. п.

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 так далее), то есть 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.

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. п. 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 лесоведам «Правила рубок леса», «Правила по отводу и таксации лесосек» и др.

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

5.4 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 (рисунок 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. 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 так далее. 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 лесоведам, так как 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, то есть 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 компьютерной программы решения квадратного уравнения на компьютере. Это общеизвестное уравнение записывается как $ax^2 + bx + c = 0$. Известно что его корни находят по формуле:

$$x_1/x_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

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

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

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, то есть 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.

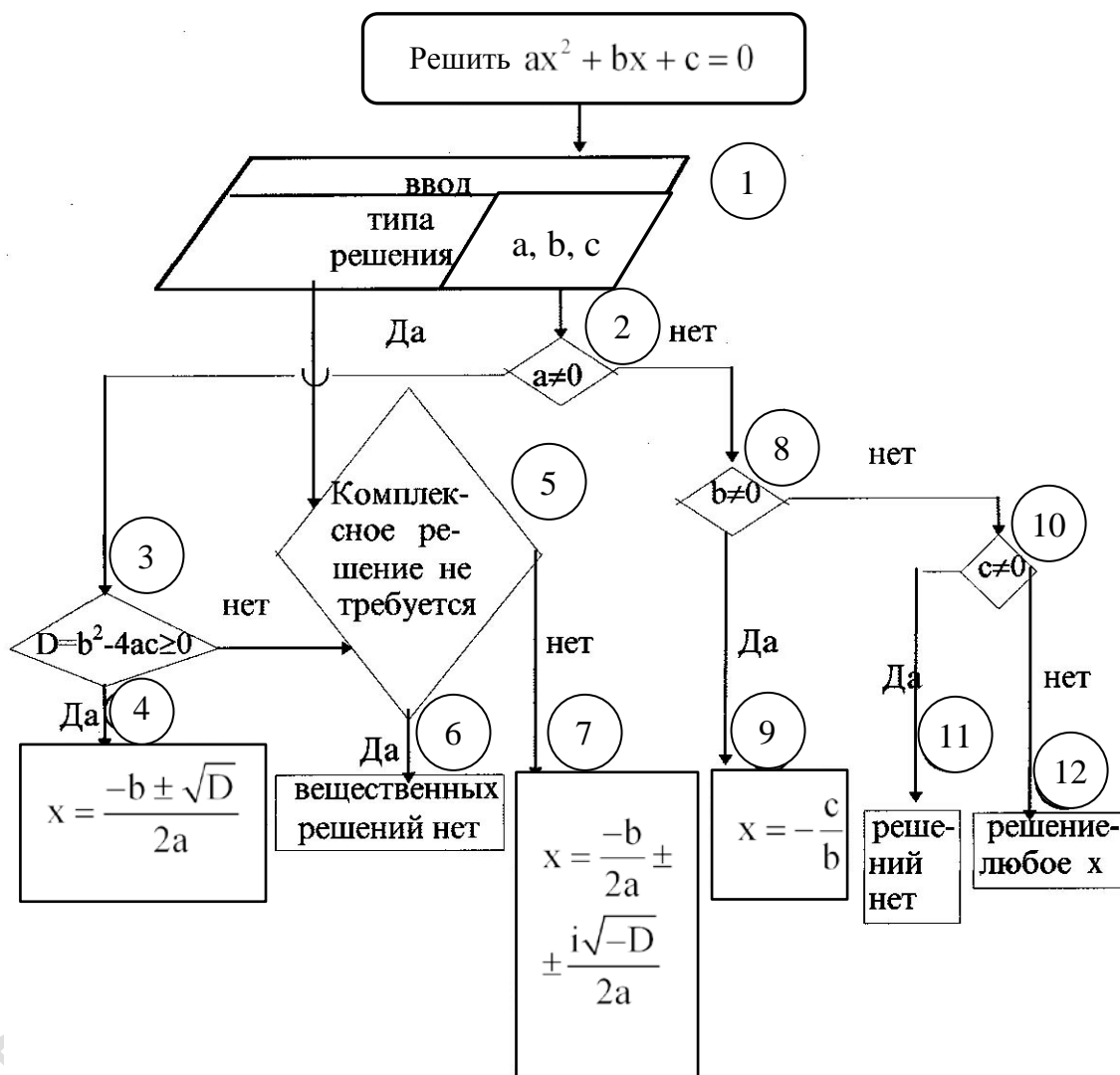


Рисунок 5.7 – Схема действий по решению квадратного уравнения

6 ПРОБЛЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

6.1 Постановка задачи.

6.2 Декомпозиция и композиция задачи принятия решения.

6.2.1 Декомпозиция задачи и оценка свойств альтернатив.

6.2.2 Композиция оценок и сравнений.

6.2.3 Множество Парето и методы его решения.

6.3 Организация принятия решения.

6.4 Формализованные и неформализованные действия, интерактивные системы.

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. Средневековый ученый–схоласт, представитель номинализма Жан Буридан (1300–1358) построил схему. По этой схеме осел, расположенный ровно посередине между 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, то есть 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, то есть 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 (с каждым годом этот вид продаж сокращается и к 2016–2017 годам продажи леса по таксам не будет), через аукционы или (основной вариант) на товарно-сырьевой бирже, то есть 3 альтернативы. Принцип же выбора φ заинтересованные стороны зафиксировать не могут. Лесное хозяйство предпочитает аукционы и биржу, так как это дает ему более весомые финансовые поступления. Лесная промышленность ратует за таксы, так как 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. Поэтому решение здесь принимает Правительство, которое исходит из общегосударственных, а не ведомствен-

ных интересов.

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): «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 или Украине, происходят выборы в парламент. Специфика этих выборов неоднократно освещалась в средствах массовой информации. Кандидатов много. Допустим, что конкретный избиратель живет в сельской глубинке. Политика нашего сельского жителя особенно не интересует. Цели политиков для малограмотной старухи-крестьянки, живущей вместе с 5–6 такими же пожилыми людьми в угасающей маленькой деревеньке, расположенной в Российской глубинке, не ясны, то есть всех альтернатив она не понимает. Поэтому решила голосовать за самого красивого – молодого и с шевелюрой. Вдруг появилась иная альтернатива: другой кандидат перед выборами проехал по деревням и обещал намного улучшить жизнь в селе. Принцип выбора у нашей старухи простой. Она решила голосовать за того кандидата, который обещал провести в село дорогу, повысить пенсию. Этот принцип неформализованный, но для старушки существующий и весьма существенный. 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 во-

прос, 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, так как 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. К тому же он здесь часто и невозможен: дорог нет, а лес относительно равномерен на большой территории. Здесь действуют свои правила безопасности, изложение которых не входит в нашу задачу. Правда, здесь тоже есть выбор – идти по ручью или речке, которые могут вывести к людям.

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

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

Так, в рассмотренном примере с выборами в парламент количество альтернатив (то есть 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-й 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:

$$\left\{ \left\{ \hat{\chi} \right\}, \varphi \right\} \rightarrow \{\chi\}$$

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, так как выбранные ею кандидаты обещают прибавку к пенсии, провести дорогу к их селу и т. д. Для упомянутого выше 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: возраст (молод), внешний облик, красивая речь, сумма обещаний, хорошая биография, наличие крепкой семьи и др. 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 № 3) все же становится обозримой и пригодной для попыток решить ее в определенной степени обоснованно.

Практические пути решения не полностью определенных задач, которыми являются задачи 6.2 и 6.3, 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 , то есть пользуются набором задач типа 6.1, которые в сумме подме-

няют искомую задачу. При этом применяют следующие приемы.

Первый из них – организация итеративного (дискретно-повторяющегося) процесса решения ряда задач вида 6.1, то есть 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, назначения измененных множеств альтернатив $\{\chi\}$ и измененных принципов выбора ϕ . После происходит новое решение набора задач и так далее, вплоть до достижения удовлетворительного результата.

Другой прием заключается в решении ослабленного варианта задач 6.1, 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 6.1, а решение исходной задачи формируется на основе их решений.

Следующий прием близок к первому. Здесь задаче 6.3 или 6.2 сопоставляется ее некоторый аналог, выбранный среди задач 6.1, а полученное решение служит основой для неформального поиска решения требуемой задачи.

В целом можно сказать, что ядром задачи принятия решения является задача оптимального выбора (6.1). 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 противозерозионных 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 ис-

следованиях 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 лесхозов, (автор выполнял эту работу по заданию Госкомлеса СССР 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 и композиция задачи принятия решения

6.2.1 Декомпозиция задачи 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 данное 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. В холодных северных краях важным является наличие отопления, а на жарком юге важен кондиционер.

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 том числе 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:

$$\text{из } \chi^1 R \chi^2 \text{ и } \chi^2 R \chi^3 \text{ следует } \chi^1 R \chi^3. \quad (6.3)$$

Дополнительно могут быть введены аксиомы антисимметричности и антирефлексивности.

Аксиома антисимметричности:

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

Аксиома антирефлексивности:

$$\text{из } \chi^1 R \chi^2 \text{ следует несовпадение альтернатив } \chi^2 R \chi^1. \quad (6.5)$$

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 $\chi^1 \geq \chi^2$, то есть 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 альтернатив. Пусть все трактора имеют

примерно одинаковую мощность. Мы знаем, что по эксплуатационным возможностям (по мощности) Т первый (Т1) лучше второго (Т2), то есть $T1 > T2$. Но Т2 лучше, то есть мощнее (во всяком случае, не хуже) Т3, то есть $T2 \geq T3$. Тогда по соотношению (6.3) можем утверждать, что Т1 лучше Т3, или $T1 > T3$. В результате мы можем сделать ранжирование $T1 > T2 \geq T3$. Но в настоящее время сравнения 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 Т2. Приведенный пример является очень простым, но суть дела он проясняет.

2. 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 др.

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 так далее.

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 др. 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 том числе 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 так далее 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. п.

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. Есть своя система у оценщиков пушнины: по размеру, цвету, блеску шкурки, прочности ворса и др.

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 депрессии насаждений. 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: для производства газетной бумаги требуется еловая древесина, в строительстве предпочитают применять сосну и ель, для производства мебели подходят твердолиственные породы. Все сказанное вносит дополнительные сложности в оценку. К тому же запас древесины 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, то есть 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, защиту дипломного проекта или диссертации.

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, определения разрядов рабочего и др.

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, так как без этого знания инженер лесного хозяйства не в состоянии успешно работать.

6.2.2 Композиция оценок и сравнений

Мы говорили об оценке отдельных свойств системы. Однако ра-

но 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, то есть 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 две ситуации:

1. Одна альтернатива не хуже другой по всем критериям, то есть

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

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

2. Утверждать такое, как в п. 1, 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 19 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 так далее». Поскольку выбор ограничен, то альтернативы оказываются неулучшаемыми.

Неулучшаемые альтернативы часто встречаются при проведении научных исследований. Так, при разработке новой 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 было сказано, описанные альтернативы неулучшаемы. Решение приведенной задачи будет описано ниже.

Попробуем все вышесказанное выразить достаточно строго, сделав графическую интерпретацию (рисунок 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 рисунке 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 рисунке 6.1 есть одна неулучшаемая альтернатива, которую мы и выберем как наилучшую. Но на позиции «б» рисунка 6.1 их уже три, то есть более одной. Действительно, образовав углы, аналогичные позиции «а», мы находим, что лучи, образующие угол, пересекаются, то есть 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 неулучшаемы (v_2).

6.2.3 Множество Парето и методы его решения

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 рисунке 6.1 «б» и 6.1 « v_1 », то есть, когда есть несколько неулучшаемых альтерна-

тив, а остальные явно хуже.

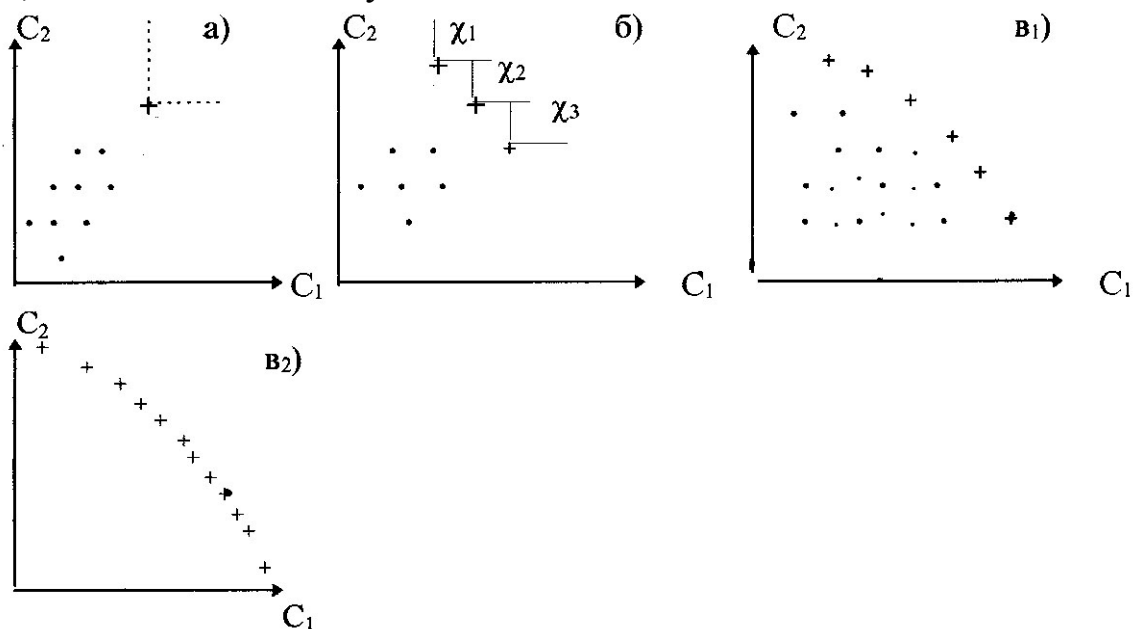


Рисунок 6.1 – Критериальное пространство. Множество Парето

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 тому подобное) оказывались явно хуже, если брать типичную ситуацию, описанную в литературе.

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, а, в свою очередь, достижение максимального урожая ягод требует определенной освещенности. Рекреационная привлекательность насаждения требует значительной доли открытых пространств, что снижает полноту, а вытаптывание уничтожает травяной покров. В рассматриваемом случае главными неулучшаемыми альтернативами является запас древостоя или его денежная стоимость, а для отдельных обычно 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 множества 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, так как 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 пользвоаний 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:

$$f = \sum_{i=1}^n \alpha_i \dot{N}_i, \quad (6.7)$$

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

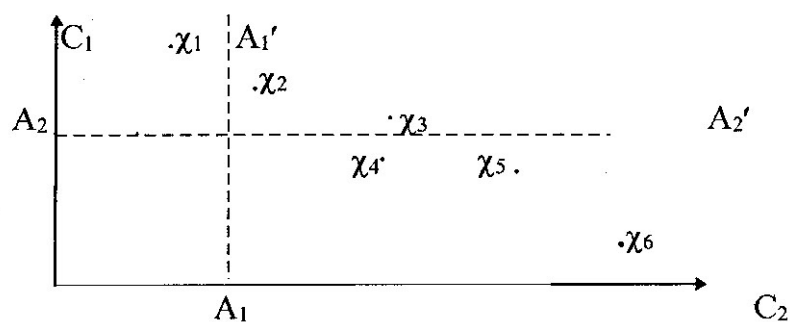


Рисунок 6.2 – Примеры выбора на множестве Парето

Для рисунка 6.2 сумма критериев для отдельных альтернатив следующая:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \dot{N}_i = \chi_5 > \chi_4 > \chi_6 > \chi_3 > \chi_2 > \chi_1. \quad (6.8)$$

Сложение критериев друг с другом и операции с ними редко бывают физически обоснованными. Весьма искусственно выглядят, 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. Описанным методом пользовалась О. В. Лапицкая при установлении возраста эколого-экономической спелости леса. 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, то есть

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

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

Φ – принцип выбора;

χ' – выбранные альтернативы.

Поскольку обе альтернативы являются равноправными, то здесь невозможна бинарная операция сравнения по некоторому свойству, то есть 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, то есть $\chi'R\chi^2$.

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 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$,

то есть $f = \sum_{i=1}^n \alpha_i \dot{N}_i$, $\rightarrow \max$, то есть 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), то есть $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n$, 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.

Данный 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 описано ниже в главе 7.

2. Вторым методом 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 $C_i(x) \geq A_i$, 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 рисунке 6.2 при закреплении уровня A_1 для первого критерия в качестве решения получим альтернативу χ^2 , (по C_i 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_i 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 , то есть 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 предпочи-

тают 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 (рисунок 6.3).

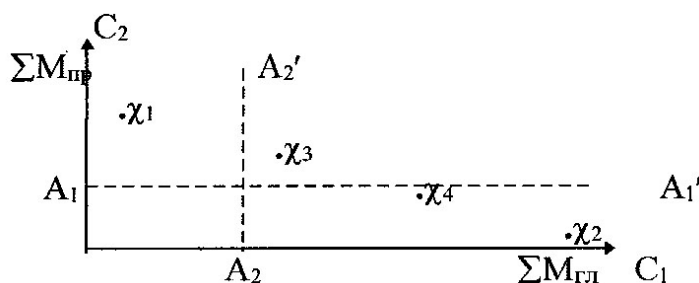


Рисунок 6.3 – Выбор на множестве Парето оптимального состава древостоя

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:

по C_1 : $f = \sum \alpha_1 C_1 = \chi_2 > \chi_4 > \chi_3$;

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 , то есть 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», то есть по принципу «и нашим, и вашим». На рисунке 6.2 такой альтернативой (вариантом), будет максимум главного и промежуточного пользования, то есть здесь лучшим оказывается χ^4 .

В примере на рисунке 6.3 искомым вариантом будет χ^3 или χ^4 (по $\sum \chi_i C_i$ лучше χ^4), то есть при составе древостоя 4С4Е2Б обеспечивается достаточно высокий запас в 90 лет, но там же можно осуще-

ствить 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, то есть 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 рисунке 6.3) сместится ближе к χ_3 . Напомним, что в этих странах все коммерческие рубки, то есть 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 № 3. 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 том числе 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 так далее 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, то есть 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 $\chi^1 R \chi^2$ то есть 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_j) будут располагаться в соответствии с ранжированием по операции R_i . Графически записи (6.9) и (6.10) изобразятся следующим образом (рисунок 6.4).

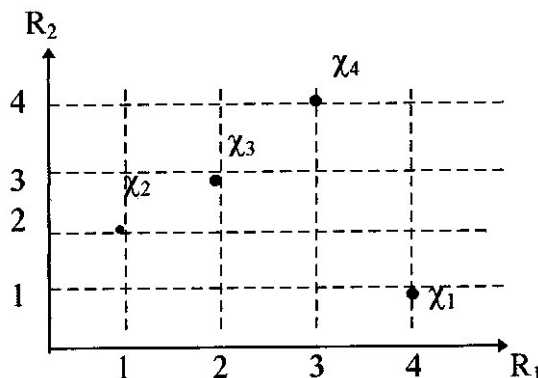


Рисунок 6.4 – Условное пространство свойств (графическая запись выражений 6.9 и 6.10)

Неулучшаемые альтернативы выделяют аналогично тому, как

это мы делали в критериальном пространстве, то есть из точки χ_i проводим лучи, параллельные положительным значениям R_1 и R_2 , и в образовавшемся углу проверим наличие других альтернатив. На рисунке 6.4 неулучшаемыми альтернативами будут χ_1 и χ_4 . Дальше 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, χ_2 – 7, χ_3 – 5, χ_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, то есть 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 рассматриваются, 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 $(\chi_k \chi_1)$, где $\chi_k R_i \chi_1$, $i = 1, \dots, n$. Как только такая пара выделяется, альтернатива χ_1 убирается из дальнейшего рассмотрения, так как 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.

6.3 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 это 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 – ручную или с помощью бензопилы, то решение будет простым, так как 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) принималось на интуитивном уровне или без просчета всех возможных вариантов.

Простое решение об увеличении размера лесопользования в Европейской части СССР, принятое на рубеже 20–30-х годов прошлого века, польза которого казалась очевидной, хотя это противоречило научным воззрениям, было пагубным, что стало ясно через 30 лет. Негативные последствия его 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, то есть 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 не 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 являются 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 принимаются решения, близкие к простым. Здесь можно говорить лишь о грубой декомпозиции альтернатив, ранжировании свойств по важности и так далее, 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 др.

У лесничего при принятии решения нет под рукой специалистов по системному анализу, экспертов и консультантов. Он сам должен быть и системщиком, и экспертом. 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 крупных государственных научно-технических программ. Вот уже около 30 лет для каждой пятилетки разрабатывают такие программы в области лесного хозяйства. Иногда лесное хозяйство объединяют со смежными отраслями. В процессе разработки таких программ участвуют специалисты разных направлений, выполняется экспертный анализ и так далее, то есть принятие решения о вводе программы в действие (это делает Совет Министров) проводится в соответствии с правилами системного анализа.

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. 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, то есть 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 так далее.

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-е годы по Европейской части СССР заявленные потребности и представленные возможности лесопользования расходились с дефицитом в 60 млн. м³ / год. На 1981–1985-е годы 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 лесоустроительной 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 1988 года Госкомлес). Несмотря на столь тщательную экспертизу, Госплан 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 втором 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 СССР не пере-

рубалась, то есть научные принципы лесопользования как бы соблюдались, 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 других областей РСФСР спелые леса вырубали почти полностью.

Чтобы исключить волонтаристский 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 более 11 % в 2015, 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 вершине 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 взле-

тали, 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. п. 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, то есть 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 изолированно, то есть 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 – попадаются 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.

6.4 Формализованные и неформализованные действия, интерактивные системы

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, то есть 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 том числе в виде письменного текста) для хранения, передачи, тиражирования.

Однозначное понимание 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 при проведении лесоводственных исследований по утвержденной методике, работа следящих или контролирующих технических средств, напри-

мер, за давлением в газопроводе, с перекрытием подачи 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 так далее. 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, то есть 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, вышперечисленные 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 потребуются построить новую контору лесничества из кирпича, то именно лесничий явится главным заказчиком и перед ним может встать 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 получится 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.

Примечание – Кстати, когда я в свое время 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 55 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.

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 оперативными и обоснованными.

Основные формы участия человека в диалоге с машиной при сочетании формализованных и неформализованных действий, то есть 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 реконструкции старых.

Примерами интерактивных систем являются различные системы проектирования (САПР), гибкие автоматические производства (ГАП)

и др. 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.

Сегодня 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-технологий, основанных на использовании компьютерных программ, банков данных «Лесной фонд» и имеющейся картографии. Действует эта система в автоматическом режиме, выдавая по запросу нужные сведения, но при необходимости человек может вносить в нее коррективы, изменения и решать новые задачи.

РЕПОЗ

7 ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

7.1 Общие особенности системного подхода в лесных исследованиях, история их развития и современное состояние.

7.2 Применение системного анализа в исследовании лесных биоценозов как динамической экосистемы.

7.3 Системный анализ отрасли «Лесное хозяйство» с целью установления ее парадигмы.

7.4 Функционирование отрасли «Лесное хозяйство» как сложной системы.

7.4.1 Информационная система лесного хозяйства.

7.4.2 Системный анализ лесохозяйственной деятельности.

7.4.3 Лесоустройство как система.

7.4.4 Возможности и перспективы использования системного анализа в лесном деле.

7.1 Общие особенности системного подхода в лесных исследованиях, история их развития и современное состояние

Ранее мы уже обсуждали различные аспекты использования теории систем в лесном хозяйстве. Это касалось в основном примеров, приводимых при проработке каждого из разделов, то есть мы смотрели на проблему как бы изнутри самого системного анализа. Сейчас попробуем взглянуть на использование системного анализа как бы изнутри лесного хозяйства, преломляя методы теории систем к его нуждам.

Широкое применение системного анализа в лесном хозяйстве началось в 60-е годы прошлого века, когда для исследований стали использовать математические методы и ЭВМ. Здесь наиболее характерны работы В. Г. Нестерова, К. Е. Никитина, Ф. П. Моисеенко, А. З. Швиденко и др. Особый размах был достигнут к середине 70-х годов. В конце 70-х годов и в 80-е годы по этой теме появилось наибольшее число публикаций. Самые значительные из них, на которых базируется настоящий курс, – это труды К. Е. Никитина и А. З. Швиденко, В. В. Антанайтиса, О. А. Атрощенко, К. Куусела, В. Ф. Багинского и другие, которые приведены в списке литературы. В дальнейшем число методических публикаций уменьшилось, так как системный анализ стал

обычным методом при проведении лесоводственных исследований, то есть большинством ученых-лесоводов он оказался освоенным.

К. Е. Никитин и А. З. Швиденко, отмечают, что любая отрасль знания в своем развитии проходит следующие основные этапы:

1) количественное осмысливание явлений и процессов, накопление эмпирических данных;

2) применение количественных методов исследования и моделирования;

3) построение достаточно строгих и полных теорий, с применением метода системного анализа и математического моделирования. На их основе проводится качественное осмысливание полученных результатов и начинается новый цикл.

Можно утверждать, что первый и второй этапы лесная наука освоила. В настоящее время применение количественных методов – это норма исследований. Сегодня мы решаем проблемы 3-го этапа. В этом перечне методы теории систем и системного анализа занимают достойное место в научных исследованиях и проектных разработках по лесоводству, лесоустройству, экономике лесного хозяйства, генетике и лесной селекции, экологии и др.

Выше отмечено, что в лесном хозяйстве обычно имеют дело со сложными системами, которые понимают в философском смысле, то есть как количественную и качественную категорию.

Все системы в лесном хозяйстве делятся на 2 группы:

а) природные системы – отдельная клетка, дерево, древостой, насаждение, биогеоценоз;

б) системы, представляющие структуру управления лесным хозяйством и проведения там различных хозяйственных мероприятий. К ним относится, например, лесоустройство как система для информационного, технико-нормативного и научного обеспечения отрасли.

Системы типа (а) являются естественными, а типа (б) искусственными. Они пересекаются и переплетаются между собой. В естественных лесных системах человек осуществляет управление и оптимизацию их, исходя из целей и задач ведения лесного хозяйства. Искусственные системы отражают существующие на данный момент структуры управления лесами и лесным хозяйством, которое постоянно совершенствуется.

Лесные экосистемы и биогеоценозы (оба употребляемые термина, хотя и близки, но различаются: понятие экосистемы несколько шире) как биологические сложные системы отличаются специфическими особенностями, обусловленными сложностью и многофакторностью взаимодействий как внутри системы так и с «несистемой».

Эти системы динамичные, то есть способны к развитию и изменению. Для них характерны саморегуляция, обратные связи, эволюция (то есть развитие в направлении усложнения и лучшего приспособления к среде), влияние фило- и онтогенеза.

Лесные биогеоценозы – это открытые системы, то есть получающие энергию и вещество извне. Взаимодействия здесь принадлежат, как правило, к типу с обратной связью. В них наблюдается параллельное взаимодействие: на ряд элементов влияет один общий элемент: например, на деревья, кустарники, напочвенный покров – количество осадков и сумма положительных температур. Есть там и последовательное влияние элементов: минеральное питание – дерево – древостой – животные.

Необратимые влияния (в одну сторону) в естественных лесных системах редки и связаны в основном с действием внешней среды, хотя и здесь есть примеры обратной связи, то есть влияния системы на среду. Такими необратимыми влияниями могут быть изменения климата, действия человека (сведение лесов) и т. д. Примером обратной связи лес – среда может служить система древостой – почва. Здесь рост древостоя зависит от почвы, но и почва изменяется под влиянием древостоя.

Системы делятся по сложности, о чем сказано выше в разделе 2. Есть несколько классификаций сложных систем. К. Е. Никитин и А. З. Швиденко придерживаются классификации систем по Ст. Биру: простые динамические; сложные, поддающиеся описанию; очень сложные. Каждая из них может быть детерминированной или вероятностной. Лесоводы, как уже отмечалось, обычно имеют дело со сложными и очень сложными биологическими системами. Лесной биогеоценоз – это открытая динамическая саморегулирующаяся сложная система.

По реакции на внешние воздействия различают гомеостатические и адаптивные системы. Гомеостатические противостоят изменениям во внешней среде, а после воздействия на них и происшедших изменений возвращаются к равновесному или стационарному режиму. В адаптивных системах каждому воздействию на входе соответствует одно или несколько привилегированных состояний системы на выходе, то есть адаптивные системы выбирают «лучшие» состояния.

Черты гомеостатичности и адаптивности свойственны природным биогеоценозам. Первое из этих свойств выражается, например, в возвращении лесного биогеоценоза к определенному состоянию после катастрофических воздействий. Так, уничтоженный большим лесным пожаром коренной древостой, пройдя ряд промежуточных стадий, возвращается в состояние, близкое к исходному. Еще быстрее этот процесс происходит, если древостой уничтожен только частично или повреждены его отдельные элементы или модули. Это мы видим в описании

сосновых лесов А. В. Тюриным, сделанное еще в дореволюционное время на материалах Брянского лесного массива. Большие исследования гомеостатичности и адаптивности природных лесных систем проводят в США. В конце 70-х в Йелустонском национальном парке в США возник лесной пожар. Он продолжался все лето, и его не тушили с целью организовать систематическое наблюдение за проявлением вышеназванных признаков лесных экосистем и для исследования сукцессионных процессов. Американцы понесли от пожара большие убытки, но пошли на это ради проведения строгих научных исследований. Их надежды оправдались. Экосистема, хотя и медленно, но возвращается в состояние, близкое к исходному.

Адаптивность проявляется в существовании наиболее целесообразных типов структуры древостоев и течения процессов в системе. В применении к лесу вспомним, что лесные биогеоценозы обеспечивают выживание и распространение разных видов растений в условиях жестокой конкуренции за свет, почвенное питание и пространство. В результате формируется оптимальная структура древостоя, которая есть следствие процессов роста и естественного изреживания.

При построении искусственных систем исследуют максимально возможное количество внутрисистемных и внесистемных связей, обращая особое внимание на обратные связи. Для примера на рисунке 7.1 показана система, предложенная О. А. Атрощенко, которая применяется при разработке программ рационального использования лесных ресурсов. В своих основных чертах эта система соответствует существующей в нашей стране системе лесного хозяйства.

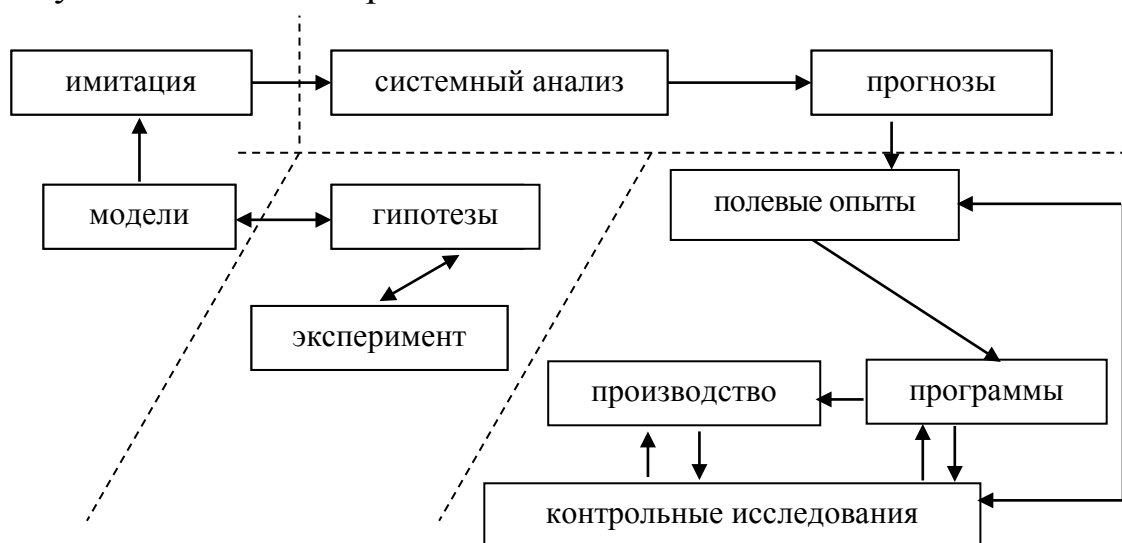


Рисунок 7.1 – Система действий, необходимых для системного анализа и разработки программ рационального использования лесных ресурсов

7.2 Применение системного анализа в исследовании лесных биоценозов как динамической экосистемы

Существует два метода анализа систем – кибернетический и статистический. Их методика и цели различны.

Рассмотрим сначала кибернетический метод анализа лесных экосистем. Известно, что кибернетика – это наука об общей теории управления и связи в любой системе. Кибернетический метод связан с понятием информации, а процессы в системах рассматриваются как процессы ее передачи, хранения и переработки. Любая информация, независимо от ее конкретного содержания, рассматривается как выбор между двумя или более значениями, а ее количество становится одной из основополагающих характеристик любого явления или процесса.

Основоположник кибернетики – Норберт Винер – связал понятия информации и энтропии, то есть меры беспорядка, хаоса в системе. Он определил, что количество информации в системе есть мера ее организованности. Точно так же энтропия системы есть мера ее дезорганизованности. Одно равно другому, но с обратным законом. Поэтому понятие информации (и энтропии) теснейшим образом связано с определением уровня организации системы. Последний во многом определяет методы и технику исследования систем. Энтропию (H) определяют по формуле К. Шеннона

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \log P_i, \quad (7.1)$$

где n – число состояний системы;

P_i – вероятность, с которой система принимает i состояние.

Знак (–) превращает энтропию в положительное число, поскольку $P_i \leq 1$, и их логарифмы отрицательны. Если для данной системы максимальная неопределенность выражается как H_{\max} (то есть в случае полной дезорганизации системы), а текущая неопределенность H , то абсолютная организация системы выразится уравнением

$$O = H_{\max} - H, \quad (7.2)$$

а относительная

$$P = 1 - \frac{H}{H_{\max}}. \quad (7.3)$$

Чем ближе P к единице, тем выше уровень организации системы.

Сказанное означает, что высокоорганизованной является система, в которой значение одного или нескольких элементов позволяет предсказать поведение системы в целом.

Другая крайность – это малоорганизованные системы. Здесь с высокой степенью надежности нельзя предсказать поведение определенного элемента даже при наличии исчерпывающей информации обо всех остальных.

Например, взвод солдат под руководством командира – это высокоорганизованная система. Если мы знаем, что после обеда некоторый элемент этой системы (солдат Иванов) идет на стрельбище, то смело можем сказать, что там будет и весь взвод. Группа студентов уже не столь высокоорганизованная система. Поэтому, даже если мы знаем, что после обеда вся группа идет на занятия по системному анализу, то придет ли туда студент (бывший солдат) Иванов, еще неизвестно, то есть предсказать поведение этого элемента системы с полной уверенностью нельзя, даже зная, что будут делать все остальные.

Таким образом, кибернетический метод позволяет изучить информационные процессы, системную организацию и процессы управления системой. С помощью кибернетического подхода можно решить многие задачи (особенно теоретические) с большой степенью обобщения. В то же время, как правильно отметили К. Е. Никитин и А. З. Швиденко, в практических приложениях к лесному хозяйству на этом пути есть много трудностей при непосредственном использовании формул 7.1–7.3. Это связано со сложностью лесных биогеоценозов и, пусть это не покажется странным, их малой (недостаточной) изученностью с позиции теории систем. Поэтому кибернетический подход в лесном деле применяется редко. Для определенного расширения применения кибернетических подходов в лесном деле автором настоящей работы сделана попытка оценить уровень организованности лесных экосистем в условиях интенсивного хозяйства. Сделан анализ основных принципов управления ими с помощью названного метода.

Уже неоднократно отмечено, что лес является открытой, динамической, саморегулирующейся, мультистабильной большой и очень сложной системой. В хозяйственном лесу, то есть там где человек осуществляет хозяйственную деятельность: проводит рубки главного и промежуточного пользования, организует лесовосстановление и так далее, функцию регулирования и поддержания стабильности в значительной степени он берет на себя. Это происходит и в лесах Беларуси. Но функцию саморегулирования и мультистабильности хозяйственный

лес не теряет. Только в очень редких случаях лесоводы осуществляют полное регулирование лесных экосистем.

Если рассмотрим хозяйственный или естественный лес (в Беларуси последний сохранился в заповедниках или в сильно увлажненных типах леса) как сложную экосистему, то заметим, что она может принимать разные состояния. Последние зависят от многих факторов, которые допустимо объединить в несколько групп: климатические – засуха, избыток осадков, большая или малая сумма положительных температур в течение вегетационного периода и др.; стихийные бедствия – ураганы, пожары, снеголом и др.; межвидовые и внутривидовые взаимоотношения между растениями; вредители и болезни; влияние зооценоза; хозяйственная и иная деятельность человека.

Природные факторы при наличии сведений о прогнозирующей системе с достаточно длинным лагом прогноза (100 лет и более) можно учесть с высокой долей вероятности. Так, накопленный уровень знаний позволяет прогнозировать климатические факторы (К), влияющие на рост леса, с вероятностью 0,8–0,9.

Стихийные бедствия (С) прогнозировать труднее, но частота их проявления, за исключением пожаров, невысока. Пожары вносят большую неопределенность в состояние лесной экосистемы, особенно, когда они становятся массовым явлением. Такое случилось, например, в 1992 году – пожары на территории Европейской части Российской Федерации, в Беларуси и в Украине повредили древостой на десятках тысяч гектаров. Анализ статистики пожаров за многие годы с одновременным учетом при этом прогноза климатических факторов позволяет оценить вероятность этого фактора, то есть стихийных бедствий величиной 0,7–0,8.

Возможность массовых вспышек вредителей и болезней (В) при хорошо налаженной службе защиты леса, включающей первичный учет за появлением вредителя со стороны подготовленной лесной охраны и наличие высококвалифицированных специалистов в лесхозах и областях (специальной службы), прогнозируется достаточно точно. Поэтому вероятность, с которой лесная экосистема придет в некоторое состояние, зависящее от вредителей, можно определить величиной 0,95. Следует учесть, что здесь, как и в других случаях, прогнозируемая система – это совокупность насаждений, по меньшей мере, лесничества или лесхоза.

В Беларуси, в Европейской части Российской Федерации и на Украине динамика древостоев (Д) основных лесобразующих пород, которая зависит от наследственных свойств древесной породы, условий местопроизрастания, конкурентных взаимоотношений между

растениями, первоначальных параметров роста (густота, состав и т. д.) и других факторов, изучена хорошо. В разрезе природных или экономических районов есть соответствующие модели строения, таблицы хода роста и продуктивности. Детерминированная составляющая этих моделей выражается величиной 0,75–0,85.

Случайная компонента в моделях динамики древостоев в значительной мере определяется неоднозначностью антропогенного вмешательства. Поэтому управление лесными экосистемами сводится, главным образом, к принятию решений хозяйственного плана, что будет рассмотрено ниже.

Ранжирование факторов по значимости их влияния на состояние лесной экосистемы показывает, что для естественного леса достаточно ограничиться приведенными четырьмя: К, С, В, Д. При рассмотрении хозяйственного леса появляется еще антропогенный фактор (А). Вероятность, с которой лесная система примет то или иное состояние под влиянием хозяйственной деятельности (антропогенного воздействия), зависит от уровня ведения лесного хозяйства и силы антропогенных факторов, которые сами лесоводы пока не в состоянии регулировать: промышленные токсиканты, глобальное осушение болот и т. д. Комплекс мероприятий по ведению лесного хозяйства, выполняемый непосредственно лесоводами, сегодня поддается достаточно надежному управлению. Другие антропогенные факторы можно будет успешно регулировать, улучшая состояние лесной экосистемы, только в средне- или долгосрочной перспективе. В целом, учитывая ситуацию, сложившуюся к настоящему времени, величину А можно принять в пределах 0,50–0,85.

Названные величины К (0,8–0,9), С (0,7–0,8), В (0,95), Д (0,75–0,85), А (0,5–0,8) мы вправе принять как численные критерии в задаче принятия решения при регулировании системы. На этом этапе несложно определить уровень организации лесных экосистем для их совокупности в пределах лесничества или лесхоза. Такое решение согласуется с общими подходами в экологии и с экологической схемой системы систем.

Энтропия лесных экосистем и ее формула (по К. Шеннону) описаны в разделе 7.1. Абсолютную организацию системы возьмем, используя формулу (7.2), а относительную получим из (7.3).

Подставив предельные и средние значения P_i (К, С, В, Д, А) в (7.1–7.3), получим степень организации лесной экосистемы для естественного (P_1) и хозяйственного (P_2) леса. Соответственно обозначим величину абсолютной организации и неопределенности в естественном лесу как O_1 и H_1 , а в хозяйственном как O_2 и H_2 .

Для разных вариантов счета примем индексное обозначение: $H^1, H^2, H^3, O^1, O^2 \dots$

При минимальных P_i ($K = 0,8; C = 0,7; B = 0,95; D = 0,75; A = 0,5$), получаем:

Естественный лес

$$H_1^1 = 0,3008;$$

$$O_1^1 = 0,6992;$$

$$P_1^1 = 0,70;$$

Хозяйственный лес

$$H_2^1 = 0,4509;$$

$$O_2^1 = 0,5491;$$

$$P_2^1 = 0,55.$$

При максимальных P_i ($K = 0,9; C = 0,8; B = 0,95; D = 0,85; A = 0,8$) имеем:

$$H_1^2 = 0,1986;$$

$$O_1^2 = 0,8016;$$

$$P_1^2 = 0,80;$$

$$H_2^2 = 0,2774;$$

$$O_2^2 = 0,7226;$$

$$P_2^2 = 0,73.$$

При средних P_i ($K = 0,85; C = 0,75; B = 0,95; D = 0,80; A = 0,7$) будут следующие значения:

$$H_1^3 = 0,2524;$$

$$O_1^3 = 0,7476;$$

$$P_1^3 = 0,75;$$

$$H_2^3 = 0,3608;$$

$$O_2^3 = 0,6392;$$

$$P_2^3 = 0,64.$$

Известно, что уровень организации системы тем выше, чем ближе P к единице. Анализ полученных результатов свидетельствует, что уровень организованности системы «естественный лес» колеблется в пределах 0,7–0,8 (среднее 0,75). В хозяйственном лесу эти же пределы составляют 0,55–0,73 (среднее 0,64). Таким образом, прогнозировать поведение экосистемы «естественные лесные насаждения» по анализу ее отдельных элементов можно с большей уверенностью, чем в лесу хозяйственном.

Из сказанного следует, что степень организованности системы – естественный лес – высокая, а хозяйственного – средняя. Только при очень хорошо налаженном лесном хозяйстве, строгом выполнении всех мероприятий в соответствии с действующими наставлениями и инструкциями, организованность этой системы (хозяйственного леса) может подняться до высокой степени на ее нижней границе.

В хозяйственном лесу управление насаждениями как сложной экосистемой в основном зависит от принимаемых решений. В природных

системах нет цели, здесь часто трудно выделить даже главную компоненту. Хозяйственный лес можно рассматривать как целенаправленную систему. Глобальная цель этой системы сформулирована давно и повторяется во многих публикациях: обеспечение непрерывного, неистощительного и по возможности равномерного лесопользования при сохранении и приумножении экологических функций леса, то есть требуется соблюдение принципов устойчивого развития.

Поскольку названная задача не имеет простого решения, то с неизбежностью приходится прибегать к ее декомпозиции на локальные цели. Трудности при их реализации возникают сразу. Во-первых, лесопользование нельзя рассматривать как одну локальную цель, понимая под ним исключительно пользование древесиной. Здесь надо учитывать побочные пользования, второстепенные лесные материалы и т. д.

В системе «лесопользование» принятие решения не может быть осуществлено на основе задачи оптимального выбора. Даже если мы ограничим множество альтернатив некоторой величиной (допустим, шестью): древесина от главного пользования (Дг), древесина от коммерческих рубок ухода (Дп), ягоды (Я), грибы (Г), живица (Ж), пни (Пн), то получим, как минимум, множество Парето из 3–4 неулучшаемых альтернатив: Дг, Дп, Я или Г. В результате выбор решения возможен только на основе экспертной оценки путем ранжирования альтернатив. В этом случае две альтернативы (Дг и Дп) можно заменить одной или делать выбор по их совместной максимизации.

Не менее сложны локальные цели управления лесными экосистемами, имеющие экологическую направленность. Так, в зеленых зонах вокруг городов альтернативами, принадлежащими множеству Парето, будут выработка кислорода (депонирование CO_2) и качество отдыха. Если первая требует формирования высокополнотных древостоев, то для лучшего отдыха нужны лесные территории с наличием открытых и полукрытых ландшафтов, дорожно-тропиночной сетью и т. д.

Для организации управления лесными экосистемами необходимо четко определить и ранжировать цели. Их может быть очень много, поэтому необходимы существенные ограничения по количеству целей и критериев. В их число с неизбежностью войдут следующие: объем заготовки древесины от рубок главного пользования (Дг), объем заготовки древесины при промежуточном пользовании (Дп), объем побочных пользователей (П), объем второстепенных лесных материалов (Вт), сохранение водоохраных свойств леса (Во), сохранение его противозерозионных свойств (Эр), выработка кислорода и депонирование углекислого газа (O_2), сохранение рекреационных свойств леса (Ср), сбережение фауны (Ф) и биоразнообразия (Б). Перечисленные

цели очень трудно ранжировать, так как большинство альтернатив принадлежит множеству Парето.

При переходе к конкретной лесной экосистеме попробуем все ее свойства представить в виде некоторого ограниченного количества модулей. Минимально их может быть два: сырьевой, или ресурсный (R_1), и экологический (R_2). В этом случае сделать сравнение несколько проще: для ранжирования альтернатив (χ_i) по свойствам (R_i) можно сделать следующую кортежную запись:

$$\chi_1 R_1 \chi_2; \chi_2 R_1 \chi_3; \dots \chi_{n-1} R_1 \chi_n \quad (7.4)$$

$$\chi_1 R_2 \chi_2; \chi_2 R_2 \chi_3; \dots \chi_{n-1} R_2 \chi_n \quad (7.5)$$

Хотя в природных экосистемах нет полной уверенности, что кортежи (7.4), (7.5) транзитивны, антисимметричны и антирефлексивны, но такую гипотезу в части каждого свойства R_1 и R_2 принять придется. В матрице ранжирования предпочтительные альтернативы каждого свойства могут совпадать, что облегчит задачу принятия решения.

Переходя к конкретной лесной экосистеме, где R_1 – ресурсы, а R_2 – полезности, допустимо сделать следующее ранжирование

$$Дг R_1 Дп; Дп R_1 П; П R_1 Ф; Ф R_1 Вг \quad (7.6)$$

$$O_2 R_2 B_0; B_0 R_2 Эр; Эр R_2 Б; Б R_2 Ср. \quad (7.7)$$

В результате матрица ранжирования принимает вид:

$$\begin{pmatrix} \check{A}\check{a} & \hat{I}_2 \\ \check{A}d' & \hat{A}\hat{i} \\ \check{D} & \check{Y}\check{d} \\ \hat{O} & \hat{A} \\ \hat{A}\check{n} & \check{N}\check{d} \end{pmatrix}$$

Анализ матрицы ранжирования показывает, что величины Дг, Дп или их сумма напрямую связаны с величиной O_2 , B_0 , $Эр$, то есть предпочтительные альтернативы матрицы R_1 соответствуют предпочтениям матрицы R_2 . Это значительно облегчает принятие решения, так как сводит задачу к оптимизации матрицы R_1 . Правда, считать решение корректным, принимая во внимание только R_1 , нельзя. Здесь, видимо, необходима фиксация некоторых уровней A_i , $i = 2, \dots, n$,

которые не являются приоритетными альтернативами в (7.6) и (7.7), но имеют важное значение.

Отсюда вытекает, что управление лесными экосистемами в хозяйственных лесах заключается в формировании известными хозяйственными приемами такого породного состава, возрастной структуры, полноты, производительности и так далее, которое обеспечивало бы оптимизацию целей, определенных как приоритетные альтернативы в приведенной матрице ранжирования при некоторых фиксированных уровнях для отдельных свойств.

Методы такого управления на разном таксономическом уровне могут различаться. Так, в литературе описан и заслуживает самого пристального внимания метод модельных лесов (Писаренко, Страхов, Филипчук), который обеспечивает всесторонний учет всех особенностей управления лесами, начиная от характера международных процессов до учета вопросов собственности и научных исследований. Большое значение для организации управления лесами имеют надежно организованные лесные кадастр и мониторинг, учет текущего прироста, динамическое планирование и т. д.

Частные задачи оптимального выбора главных пород, регулирования состава, полноты тоже весьма сложны, и на сегодняшний день дискуссия по этому поводу продолжается. Но на некоторый момент времени здесь есть фиксация определенных положений, которые нельзя считать окончательными, но их нужно придерживаться при проектировании, планировании и проведении хозяйственных мероприятий. В Беларуси, где есть древние традиции организации и ведения лесного хозяйства и лесной науки, такие нормативы, инструкции, положения используются в полном объеме.

7.3 Системный анализ отрасли «Лесное хозяйство» с целью установления ее парадигмы

Прежде чем начать процесс исследования, дадим определение парадигмы. Слово парадигма происходит от греческого *paraideigma* – пример, образец. В философии, социологии и экономике под ней понимают следующее:

- 1) строго научную теорию воплощенную в системе понятий, выражающих существенные черты действительности;
- 2) исходную концептуальную схему, модель постановки проблем и их решения, методов исследования, господствующих в течение

определенного исторического периода в научном сообществе.

Теперь определим, каким мы хотим видеть лесное хозяйство. Не подлежит сомнению, что названная отрасль должна в достаточной мере обеспечивать народное хозяйство древесиной и другими сырьевыми ресурсами на принципах устойчивого развития, то есть с учетом экологического императива. Такое возможно, если лесное хозяйство будет вестись на строго научной основе, широко использовать достижения научно-технического прогресса.

Известно, что одним из наиболее существенных недостатков экономической системы бывшего СССР являлась малая восприимчивость отраслей народного хозяйства к инновациям. Попытки решить эту проблему административными методами, в том числе возлагая ответственность за внедрение инноваций на их разработчиков, не увенчались успехом, так как были лишены экономической основы. Возможно в меньшей мере, но проблема использования научных разработок в народном хозяйстве существует и в современной Беларуси. Поэтому необходимо искать пути и методы, чтобы инновации использовались беспрепятственно.

Лесное хозяйство как народнохозяйственная отрасль имеет свои особенности. Длительный цикл воспроизводства лесных ресурсов растягивает отдачу от инноваций, направленных на повышение продуктивности лесов, на многие десятилетия, часто на 80–120 лет. Основное богатство лесохозяйственной отрасли – растущий лес, лесные угодья. До сего времени ведутся споры между учеными о том, что является продукцией лесного хозяйства. Одни считают, что это лес на корню, другие – заготовленная лесопродукция, третьи – лесные угодья, четвертые – древесный прирост. Не следует забывать особую роль леса как стабилизатора экологической ситуации. Все сказанное сильно усложняет использование инноваций в отрасли, делает очень трудным, а часто и невозможным их корректную экономическую оценку.

Поясним сказанное примерами. Известно, что учет лесного фонда осуществляется при проведении лесоустройства один раз в 10 лет и корректируется во время единовременных учетов один раз в пятилетку. Основное богатство лесоводов – площади и запасы леса на корню – не отражается по текущей отчетности и в бухгалтерском балансе. Это не значит, что работники отрасли могут распоряжаться лесными ресурсами по своему усмотрению. Вырубки древесины жестко регламентируются, за самовольную рубку должна наступать ответственность в установленном законом порядке. Но все эти меры являются административными. Допустим, благодаря хорошей работе лесничего или других работников лесного хозяйства прирост леса существенно

возрос. Можно привести и противоположный пример. Как в первом, так и во втором случае это никак не отразится на показателях работы лесного предприятия, на экономическом положении работников. При больших потерях лесных площадей, например от пожаров, может наступить административная ответственность, хотя тоже не всегда.

Из сказанного видно, что инновации для повышения продуктивности лесов, например, селекционное улучшение насаждений, которое дает большой народнохозяйственный эффект, введение интродуцентов и так далее не отражаются на экономике лесхоза, лесничества и их работников. Поэтому все научные разработки, другие мероприятия, которые направлены на улучшение лесного фонда (лесовосстановление, рубки ухода и так далее), реализуются на уровне выполнения государственного плана. Несколько утрируя ситуацию, можно сказать, что главной ежегодной продукцией работников лесного хозяйства, занимающихся улучшением лесов, являются выполненные плановые показатели.

В то же время лесное хозяйство производит разные товары. Это древесина, получаемая от рубок главного и промежуточного пользования, продукция побочного пользования (грибы, ягоды), заготовка второстепенных лесных материалов (живица, пни), продукты переработки древесины (пиломатериалы, изделия). Все это подлежит строгому учету, оценке и отражается в балансе лесхоза. Использование инноваций в данной сфере деятельности лесного хозяйства находит свое отражение в учете, здесь достаточно просто рассчитать эффективность использования новых научных разработок.

Поскольку в этой сфере инновации сразу улучшают экономические показатели или условия труда, отражаются на реальных доходах работников, здесь обычно не требуется особого административного нажима для их внедрения. Это касается, например, применения новых, более производительных мотопил для валки и раскряжевки леса, тракторов для трелевки древесины и т. п. Так, в последние 20–25 лет в лесном хозяйстве Беларуси почти все мотопилы российского производства («Урал», «Дружба») заменены на более производительные и, главное, экономичные шведские и немецкие. В этом же ряду стоит широкое использование харвестеров для заготовки древесины, форвардеров для трелевки и подвозки древесины и т. п.

Подобных примеров много, но и сказанного достаточно для характеристики общей ситуации с инновациями, которая определяется двойственным характером лесохозяйственного производства – длительным периодам выращивания основной продукции лесного хозяйства и обычным производственным процессом для выпуска товаров

и оказания услуг.

Организацию широкого и эффективного использования инноваций при лесовыращивании, как и многие другие проблемы лесного хозяйства, можно решить только проведя системный анализ отрасли и ее места в народном хозяйстве. При этом особое внимание следует уделить выявлению парадигмы отрасли и главных целей ее функционирования.

Анализ развития лесного хозяйства СССР за время его существования и перспектив развития лесного хозяйства Беларуси дает основание считать, что современная парадигма лесного хозяйства уже не отвечает вызовам времени. В подтверждении тезиса проведем анализ главных целей лесного хозяйства за советский период, пользуясь методами системного анализа.

Известно, что лес и лесное хозяйство являются большими и сложными системами. Для начала очень коротко напомним схему взаимодействия системы «лесное хозяйство» с системами более высокого и более низкого уровней. На рисунке 7.2 показано место лесного хозяйства в названной схеме.

Система «лесное хозяйство» является частью более крупной системы первого иерархического уровня «народное хозяйство». В свою очередь, система 2 включает в себя некоторое множество систем более низкого иерархического уровня, важнейшей из которых будет система управления лесным хозяйством, которая включает все его уровни – от министра до лесника.

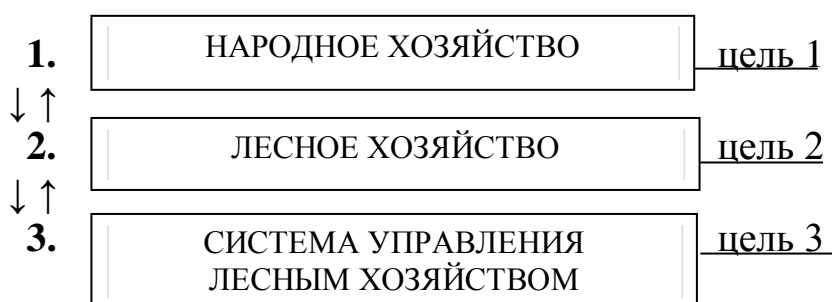


Рисунок 7.2 – Взаимодействия системы «лесное хозяйство»

Оптимальное функционирование всей большой системы возможно в том случае, если главные цели систем 1, 2 и 3 совпадают. Если же цели лесного хозяйства (система 2) не совпадают с народнохозяйственными (система 1), а системы управления лесным хозяйством (система 3) с целями отрасли (система 2), то наступает системный кризис, и низшая система должна или развалиться, или жестко кор-

ректироваться с более высокого иерархического уровня.

Теперь перейдем к анализу лесного хозяйства. В дореволюционной России и до второй половины 20-х годов прошлого века главной целью лесного хозяйства являлось получение максимального дохода от продажи леса. Ко второй половине 20-х годов, то есть с началом индустриализации и развития социалистического способа производства в лесном хозяйстве произошла смена парадигмы. Поскольку нас в большей мере интересует развитие лесного хозяйства за период, равный среднему обороту рубки леса (примерно 90 лет), то начнем детальный анализ со второй половины 20-х годов, то есть практически за последние 90 лет.

За этот период четко просматриваются две основные цели лесной отрасли. Временной период между ними несколько растянут, так как смена старой главной цели на новую проходила постепенно. Эти цели четко никогда не декларировались, и установить их можно только на основе научного анализа. Главные цели лесного хозяйства затушевываются тем обстоятельством, что одновременно решалось много частных, локальных целей. Их выполнение в той или иной мере способствовало или замедляло реализацию главной, но все же это были второстепенные цели. Здесь излагается собственная точка зрения автора, которая не всем покажется бесспорной.

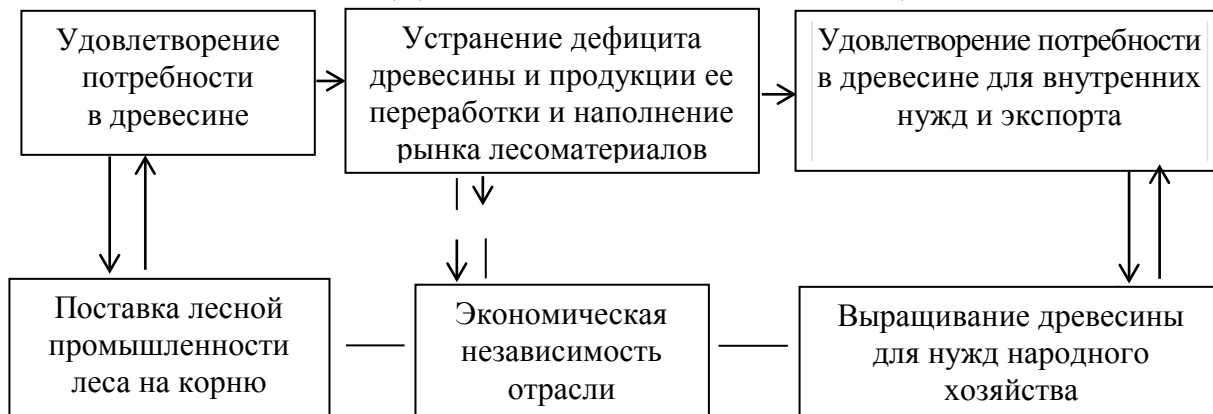
Динамика главных целей отрасли «лесное хозяйство» и их взаимосвязь для систем разного иерархического уровня показаны на рисунке 7.3.

Итак, в 20–50-е годы основная цель лесного хозяйства, назовем ее целью А, была сформулирована еще в конце 20-х годов руководителем государства – И. В. Сталиным и звучала предельно кратко: «Стране нужен лес!». Следовательно, основной целью лесного хозяйства (система 2, рисунок 7.2) было обеспечение лесной промышленности, а через нее системы 1 лесом на корню. Спелого леса в 20–40-е годы имелось достаточно. Так, процент спелых лесов в 30-е годы составил 16 %, то есть был близок к оптимуму. Задача лесного хозяйства заключалась в подготовке лесосечного фонда и передаче его леспромхозам в нужном количестве. Какие-то ограничения в лесопользовании не допускались. Мощности леспромхозов определялись пропускной способностью лесовозных дорог. В этот период средний объем лесозаготовок по главному пользованию в Беларуси составил 17–18 млн. м³, а в отдельные годы он доходил до 25 млн. м³. При этом надо учесть, что территория БССР составляла тогда примерно 2/3 нынешней, а площадь лесов не превышала 3,4–3,5 млн. га, то есть около 40 % современной.

Тогда же попутно решались многие локальные цели: лесовосстановление, охрана леса и так далее, но только в той мере, в какой их

реализация не препятствовала выполнению главной цели – цели А.

НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ЦЕЛИ



ГЛАВНЫЕ ЦЕЛИ ОТРАСЛИ «ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО»

цель А
1928–1964

цель Б
1965–2000

цель
с 2001 года
(предложение)

Рисунок 7.3 – Соотношение народнохозяйственных и отраслевых главных целей

Система управления лесным хозяйством (система 3, рисунок 7.2) вынуждена была работать на главную цель отрасли (система 2, рисунок 7.2). У работников управления (система 3, рисунок 7.2) были свои локальные цели. Например, одной из них было обеспечение собственного благосостояния. Но последние цели могли быть осуществлены только при условии реализации целей систем высшего уровня. Именно под них строилась структура лесной отрасли. Контроль за выполнением главной цели был жестким, подмена целей сурово каралась, управление лесами велось в требуемом режиме.

Результатом такого подхода явился многократный переруб расчетной лесосеки, продолжавшийся около 50 лет, начиная с 20-х годов прошлого века. Это привело к почти полному истощению лесосечного фонда. С 20-х и до середины 50-х годов перерубали даже средний прирост (рисунок 7.4), что является грубейшим нарушением канонов лесного хозяйства.

Лишь со второй половины 50-х из-за падения объемов вырубki древесины и появления большого количества древостоев II и III классов возраста на местах рубок 20–30-х годов, где прирост достиг максимума, началось постепенное накопление древесных запасов (рисунок 7.4). В настоящее время средний прирост выше, чем объемы вырубki.

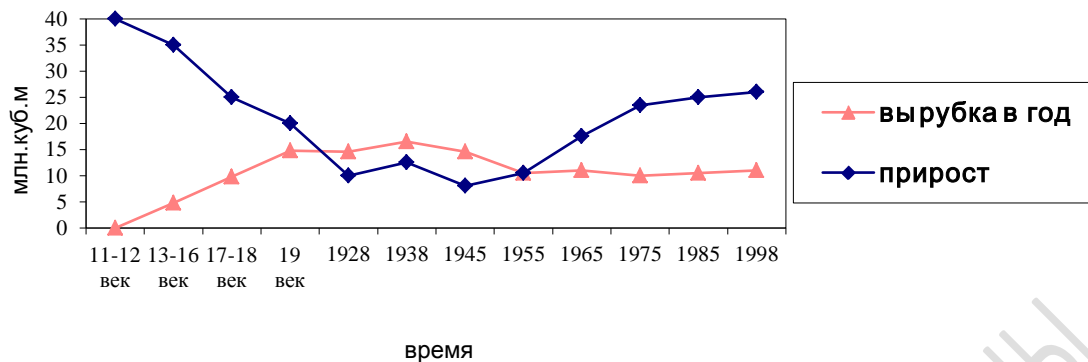


Рисунок 7.4 – Динамика вырубки древесины и ее среднего прироста

Мы используем лишь 55–60 % среднего прироста. Казалось бы, что, имея средний прирост в 28–30 млн. м³, можно ежегодно заготавливать это же количество древесины. Но такое невозможно из-за нарушенной возрастной структуры. Названный большой прирост формируется в основном в молодняках и средневозрастных древостоях, а рубить можно только спелые леса. Природу обмануть невозможно: то, что взяли у леса «в долг» в прежние годы, надо отдавать сегодня. Системный анализ данной проблемы это наглядно показывает.

Следствием безудержных рубок стало резкое уменьшение площадей спелого леса. Так, количество спелых древостоев в 1945 году составляло еще 10 %, но уже к началу 50-х годов упало до 6 %. К середине 50-х отчетливо проявился катастрофический недостаток спелых древостоев в Европейской части СССР. В Беларуси положение было одно из наихудших. Для устранения этого дефицита в начале 60-х годов 20 века снижены возрасты рубки. Приспевающие древостои в одночасье назвали спелыми. Без снижения возрастов рубки уже с 1963–1964 гг. в Беларуси, на Украине и в ряде других мест рубить было бы просто нечего. Как видим, в лесном хозяйстве декларировались и частично выполнялись многие цели, но неуклонно и неотвратимо реализовалась только главная. Так было до 1965–1969 годов.

С середины 60-х годов прошлого века парадигма в лесном хозяйстве начала меняться и изменилась к концу десятилетия. Ее можно сформулировать как обеспечение экономической самостоятельности или независимости отрасли. При этом сохранялись все декларативные заявления прошлого с добавлением новых: многоцелевое хозяйство, экологические императивы, оптимизация породного состава и т. п. Справедливости ради отметим, что все перечисленные заявления не всегда были голословными и часто реализовывались, если не мешали

выполнять главную цель системы «лесное хозяйство». В приведенном виде ее официально не формулировали, цель перед лесным хозяйством ставилась другая, но беспристрастный анализ говорит именно о такой цели.

Главная цель лесного хозяйства, назовем ее целью Б, реализовывалась путем увеличения объемов промежуточного пользования в 5–6 раз и бурного развития цехов по деревообработке.

Совпадали ли в этот период народнохозяйственные и отраслевые цели, то есть цели систем 1 и 2 (рисунок 7.2)? Да, совпадали. В 50–60-е годы в республике возник острый дефицит древесины – деловой и топливной, особенно для местных нужд. Древесина отпускалась строго по нарядам, которые выдавали местные органы власти. Недостаток древесины вызвал недовольство населения, руководителей хозяйств и др. Следствием были конфликты, совершалось много самовольных порубок: в границах одного обхода их объем мог достигать 50–100 м³.

Более чем пятикратное увеличение рубок ухода и 7–10-кратный рост выпуска изделий деревообработки, начавшийся со второй половины 60-х годов и продлившийся более 50 лет, уже к началу 70-х годов сняли проблему со снабжением местного населения, колхозов, местных предприятий и учреждений древесиной и продукцией ее первичной переработки. На это наложились газификация и электрификация села, убыль местного населения, что привело к уменьшению потребления дров. Ярчайшим свидетельством успеха явилось почти полное прекращение самовольных порубок: они уменьшились в сотни раз. Древесина стала доступной для покупки и была вполне приемлема по цене.

К началу 80-х годов главная задача отрасли была в основном выполнена, хотя совершенствование продолжалось и продолжается до сих пор.

Как же главная цель отрасли (система 2, рисунок 7.2) стыковалась с целями ее управленцев (система 3, рисунок 7.2)? В полной мере. Увеличение объемов рубок ухода, развитие хозрасчетной деятельности позволили резко повысить зарплату работников лесного хозяйства. Поэтому вся система управления (система 3, рисунок 7.2) активно работала на реализацию главной цели отрасли, то есть системы 2 (рисунок 7.2). В то же время переход от цели А к цели Б (рисунок 7.3) не был простым и легким, как это может показаться сегодня. Не все управленцы в центре и на местах восприняли новую парадигму. Здесь было сильное управляющее воздействие системы высшего уровня – Минлесхоза, которое выразилось в почти полном обновлении руково-

дящих кадров лесхозов в 60-е годы.

Замена целей была проведена в полном соответствии с одним из основных законов диалектики – законом отрицания, то есть произошло снятие всего лучшего от прежней цели А (рисунок 7.3). Следствием было продолжение обеспечения лесной промышленности Беларуси древесиной на корню. Но главной эта цель уже не была, так как лесная промышленность очень существенную часть своей потребности (почти 50 %) для деревопереработки стала удовлетворять за счет привозного сырья. Отпуск леса постепенно сокращался, и к концу 70-х годов расчетная лесосека уже не перерубалась.

Зная главную цель лесного хозяйства в 60–90-е годы, понятны причины многих негативных последствий для лесного фонда, имевших место в эти годы: почти полное исчезновение к 1988–1991 годам спелого леса, большой переруб лесосеки по санитарным рубкам в сосняках по суходолу, который был в 4 раза больше допустимых норм, низкие запасы древесины на 1 га и другое. Безусловно, в названный период реализовывалась не только главная цель, но и другие цели, но последние носили локальный характер и выполнялись постольку, поскольку не мешали главному. В этом состоянии система лесного хозяйства (система 2, рисунок 7.2) практически находится до сих пор.

Отвечает ли нынешняя главная цель Б (рисунок 7.3) сегодняшним перспективным запросам народного хозяйства? Ответ должен быть отрицательным. Интенсивная лесоэксплуатация, не подкрепляемая высокими запасами спелого леса, ведет к истощению лесных богатств. Уменьшение лесопользования тоже нежелательно, так как лишает возможности удовлетворить спрос на древесину и продукцию из нее. Хотя оценка состояния лесного фонда за последнее 25 лет рисует оптимистичную картину – рост количества спелых древостоев с 2,4 % до 11 %, но детальный анализ показывает, что до полного благополучия еще далеко. Не следует забывать, что современные возрасты рубки занижены, то есть они не обеспечивают получения оптимальной сортиментной структуры лесопользования и не отвечают величине экологической и эколого-экономической спелости леса.

Такое положение, как было показано выше, явилось следствием вынужденного снижения возраста рубки более 50 лет назад. Крупнейший советский ученый – лесоустроитель того времени академик Н. П. Анучин, отмечая вынужденную необходимость снижения возраста рубки, писал о несоответствии этой меры научно обоснованным нормативам спелости леса и считал, что в течении ближайших 20 лет, как только положение с лесопользованием в Европейской ча-

сти СССР выровняется, то есть к концу 70-х – началу 80-х годов, будут возрождены прежние, более высокие возрасты рубки. Но в бывшем СССР такого не произошло, да и в суверенной Беларуси вопрос о повышении возраста рубки пока кардинально не решается.

Следствием экономического кризиса 90-х годов в Беларуси явилось снижение потребления древесины, что привело к уменьшению лесозаготовок почти на 30 % и способствовало увеличению площади спелых лесов. Чернобыльская катастрофа вывела из хозяйственного оборота древостои, расположенные во 2-й и 3-й зонах радиоактивного загрязнения (около 500 тыс. га), что тоже привело к некоторому увеличению процента спелых древостоев. Даже последние 15 лет, когда в связи с ростом экономики нашего государства потребности в древесине значительно увеличились, расчетная лесосека недоиспользуется на 20–25 %, обычно по мягколиственному хозяйству.

Запасы спелых древостоев на 1 га составляют в среднем 236 м³, в том числе хвойные и дуб – 237 м³/га (сосна 230 м³/га), мягколиственные 235 м³/га. Это лишь 40–50 % потенциально возможной продуктивности лесов, которую может обеспечить уровень плодородия лесных земель Беларуси. Вспомним, что в 30-е годы средние запасы спелых древостоев, вовлекаемых в эксплуатацию, в наших лесах составляли 350 м³/га, то есть были почти на 50 % выше. Следовательно, страна недополучает большое количество древесины. Имея один из лучших показателей в Европе по лесистости (39 %), Беларусь вправе рассчитывать на значительно большие доходы от продажи древесины и изделий из нее на внутреннем и внешнем рынках.

Выход из создавшегося положения один – вырастить в ближайшее 20–30 лет нужное количество спелого леса. При этом должно быть обеспечено получение высококачественных сортиментов. Анализ мирового рынка показывает весьма изменчивую ценовую конъюнктуру для мелкой и средней деловой древесины (балансы) и устойчивый рост потребности и уровня цен на высококачественные крупные сортименты.

Какова же новая главная цель, назовем ее целью В (рисунок 7.3), которая отвечает потребностям сегодняшнего дня и на обозримую перспективу? Главную цель системы нельзя придумать, ее можно только сформулировать, исходя из анализа складывающейся обстановки. Попробуем это сделать. В настоящее время дефицита лесопроизводства в том виде, как он проявлялся в конце 50-х – начале 60-х годов, нет. В то же время ценных сортиментов высоких сортов в Беларуси недостает. Например, при полном удовлетворении заявок на древесину в целом, которые поступали в Минлесхоз в последние

10 лет, спрос на пиловочник, особенно хвойный и твердолиственный, удовлетворяется лишь на 60 %. Возможности получения лесопродукции из-за пределов Беларуси по причине недостатка валютных средств ограничены.

Следовательно, главная задача лесного хозяйства на ближайшие 20–30 лет – обеспечить страну древесиной, сохраняя при этом устойчивое развитие отрасли. В последнее понятие входит экологический императив. Нужна не просто древесина, а высококачественные крупные сортименты высших сортов. Такую лесопродукцию можно получить лишь при высокой производительности лесных насаждений, которые будут рубить на основе научно обоснованного возраста экологической и эколого-экономической спелости. Положение сегодня коренным образом отличается от 20–60-х годов, поскольку нет достаточного количества высококачественной спелой древесины. Ее надо не просто где-то заготовить, а вырастить. Это нелегкая задача.

Ситуация осложняется нарастающими экологическими проблемами, многие из которых должны решаться путем использования полезностей леса. Это еще в большей степени повышает актуальность ведения хозяйства, направленного на получение максимума ценного древесного сырья.

В Беларуси достаточно оптимистичные прогнозы лесопользования: к 2030 году расчетная лесосека по главному пользованию вырастет до 14 млн. м³, а общий объем лесопользования до 20–21 млн. кубометров. Однако для того, чтобы этот прогноз сбылся, необходимо много и целеустремленно работать. При этом главным условием стабильного увеличения объемов лесозаготовок является требование, чтобы выращивание нужного количества древесины заданного качества стало главной целью отрасли. В подтверждение вспомним, что прогноз развития лесного хозяйства начала 70-х годов тоже был оптимистический. К 1999–2000 годам площадь спелых лесов прогнозировалась в количестве 10–16 %, то есть в 4–7 раза больше, чем имели на эту дату. Причина расхождений после проведения системного анализа становится очевидной – это не было главной целью отрасли.

При реализации цели 2 (рисунок 7.2) необходимо, чтобы она стала главной и для системы управления, то есть для системы 3 (рисунок 7.2). Выращивание большого количества древесины высокого качества должно вести к более высокой зарплате и другим позитивным оценкам труда каждого лесовода. Для обеспечения этого условия надо поставить выполнение главных целей 2 и 3 (рисунок 7.2) на твердую экономическую основу. Ею должна стать плата за заготовленную древесину от всех видов пользования, которая после обязательных

выплат государству будет оставаться в лесхозе.

Для реализации описанной новой парадигмы лесного хозяйства потребуется разработать такой экономический механизм, который позволит заинтересовать работников системы управления в увеличении запасов древесины, то есть поставить их благосостояние в зависимость от качества лесного фонда. Не следует забывать, что улучшение качества лесного фонда одновременно решает и экологические проблемы.

Принципиальная схема такого механизма будет следующей. Силами лесоустройства и лесной науки проводится денежная или материальная оценка лесного фонда лесхоза или лесничества. По этому поводу может возникнуть большая дискуссия, но в настоящее время не имеет решающего значения абсолютно точная оценка в абсолютных величинах. Важно, чтобы было выдержано соотношение реальных стоимостей разных выделов, хозсекций и т. д. Особое значение имеет определение пропорций в цене разных участков леса из-за отличий в породе, возрасте, продуктивности, качестве древесины и во многом другом. Научная база для такой оценки в основном в Беларуси есть, возможно, ее потребуется несколько дополнить.

При сохранении имеющегося состояния лесного фонда с учетом естественных процессов роста древостоев и отпада в них работники лесной охраны получают установленный оклад. Улучшение качества лесных насаждений, вызванное изменением породного состава, появлением лесных культур, особенно созданных отселектированными сеянцами, ускорение роста и прироста и так далее, то есть все то, что явилось следствием правильной хозяйственной деятельности, ведет к увеличению стоимости лесных насаждений. Следствием этого будет большая зарплата работников лесного хозяйства, другие материальные и моральные поощрения. Наоборот, ухудшение лесного фонда, вызванное плохой работой (например, повреждения вредителями, пожарами, неумелые уходы), ведет к уменьшению цены гектара леса и снижению оплаты труда. В результате работники лесного хозяйства станут экономически заинтересованы в использовании инноваций, обеспечивающих повышение продуктивности: научных разработок по лесоведению, генетике и селекции леса, интродукции и т. д.

Подобную схему можно детально разработать достаточно быстро за 3–5 лет. Впоследствии она будет корректироваться. Раньше подобная задача представлялась неразрешимой, но сегодня, имея возможности вести непрерывное лесоустройство, компьютеризацию, ГИС-технологии и многое другое, проблема не представляется чрезмерно сложной. При переходе к новой главной цели важно не растерять все лучшее, что было присуще предыдущему этапу: надежная охрана и

защита леса, регулирование лесопользования, лесоустройство и др.

Несовременное перенацеливание лесного хозяйства может привести к системному кризису, когда системы 2 и 3 – лесное хозяйство и его управленцы – (рисунок 7.2) начнут работать не на главную цель, а сами на себя, что приведет к системному кризису.

Итак, главной целью лесного хозяйства должно быть выращивание высококачественного леса. На нынешнем этапе развития такой лес наиболее ценен и в экологическом плане. Этот факт имеет принципиальное значение, так как соответствует экологизации лесного хозяйства и лесопользования, то есть принципам устойчивого развития, которое находится на главном направлении функционирования лесной отрасли. Из этой цели должны исходить структура лесного комплекса и система управления лесным хозяйством.

Для перехода к новой парадигме развития лесного хозяйства очень важно, чтобы эта необходимость была осознана как верхними, так и нижними эшелонами управления. Только тогда можно перестроить всю систему, сориентировав ее на новые цели, которые отвечают интересам общества, государства и работников лесного хозяйства.

Описанные подходы в Беларуси уже реализуются. Во время совещания с работниками лесной отрасли в июле 2006 года в г. Ивацевичи Президент Республики Беларусь определил, что главной задачей лесоводов должно стать выращивание лесов, повышение их продуктивности и экологической ценности. Основным источником доходов в лесном хозяйстве становится реализация древесины в готовом виде, заготавливать которую могут как лесхозы, так и другие лесозаготовители, независимо от вида собственности, работающие в лесу на условиях подрядчиков лесхозов. В «Стратегическом плане развития лесного хозяйства до 2030 года», принятом Советом Министров, основной упор сделан на повышение продуктивности лесов. Как видим, парадигма лесного хозяйства у нас хотя и медленно, но изменяется в нужном направлении в полном соответствии с принципами системного анализа.

7.4 Функционирование отрасли «Лесное хозяйство» как сложной системы

7.4.1 Информационная система лесного хозяйства

Несмотря на широкие возможности кибернетического подхо-

да, в системном анализе он пока применяется мало. Наибольшее распространение в исследованиях по лесному хозяйству нашел статистический подход. Здесь используют методы многомерного регрессионного анализа для эмпирического представления основных параметров, характеристик и взаимодействий системы, свёртки информации, оценки фактов и, в конечном итоге, для разработки модели системы. При этом параметры системы фиксируются на различных уровнях, что позволяет получить более информативные данные для моделирования.

Выше уже отмечено, что методы теории систем широко использовали ученые-лесоводы, правда, не всегда применяя это определение. Работы Г. Ф. Морозова, М. М. Орлова, В. Н. Сукачева, А. В. Тюрина, М. Е. Ткаченко, М. К. Турского, а также их последователей: А. Б. Жукова, И. С. Мелехова, Н. П. Анучина, В. С. Чуенкова, К. Б. Лолицкого, Ф. П. Моисеенко, К. Е. Никитина, А. Г. Мошкалева, Н. Н. Свалова, М. В. Давидова, В. В. Загреева, В. В. Антанайтиса, В. С. Гельмана, И. Д. Юркевича, Л. А. Кайрюкштиса, В. К. Захарова, А. А. Молчанова, В. В. Успенского, А. С. Шейнгауза и других пронизаны системными концепциями.

Принятие решений в лесном хозяйстве базируется на системе получения и анализа лесохозяйственной информации, схема которой приведена на рисунках 7.5 и 7.6.

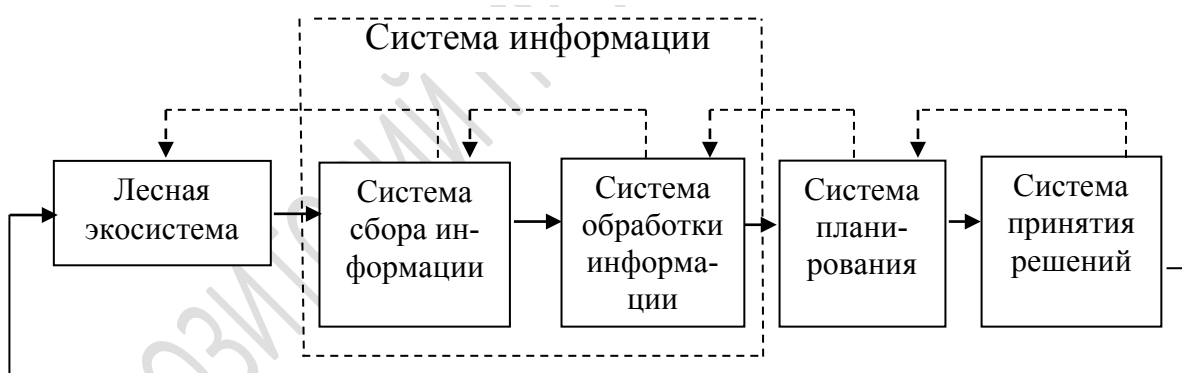


Рисунок 7.5 – Система лесохозяйственной информации

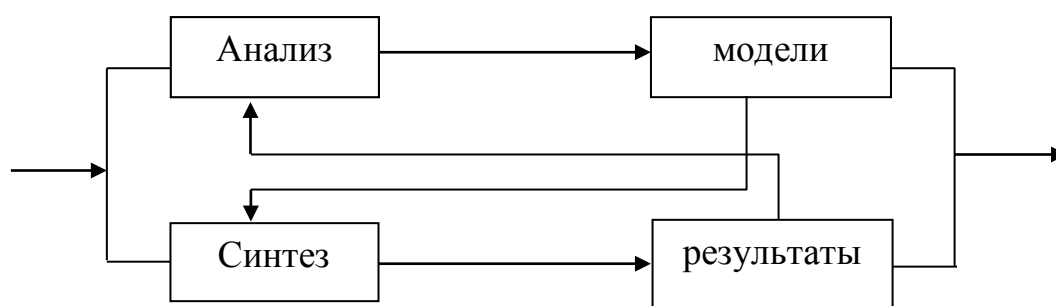


Рисунок 7.6 – Структура систем информации,

планирования и принятия решения

Современные идеи системного подхода оказывают существенное влияние на методологию лесных исследований и формирование нового системного мышления у наших лесоводов. Их научные труды в полной мере являются следствием системного подхода. Здесь уместно вспомнить ведущих ученых России и СНГ, чьи научные работы в полной мере отвечают вышесказанному: академиком А. С. Исеева, А. И. Писаренко, С. Э. Вомперского, В. А. Ипатьева; профессоров: А. В. Побединского, А. Р. Родина, Е. С. Мурахтанова, А. М. Кожевникова, В. П. Тарасенко, Н. А. Моисеева, И. И. Кожухова, Г. И. Редько, П. М. Верхунова, А. З. Швиденко, Ф. В. Кишенкова, В. Е. Ермакова, Е. П. Смолоногова, А. С. Тихонова, О. А. Атрощенко, В. А. Усольцева, С. Н. Сеннова, В. В. Кузьмичева, А. Д. Янушко и многих других.

7.4.2 Системный анализ лесохозяйственной деятельности

Теперь перейдем от общих (глобальных) вопросов применения системного анализа в лесном деле к конкретным лесным объектам. Рассмотрим более внимательно главный объект приложения наших усилий – лес. Его определение с точки зрения лесоводства известно из трудов классика русского лесоводства Г. Ф. Морозова, учебников М. Е. Ткаченко, И. С. Мелехова и других. С позиций системного анализа лес – это сложная система биогеоценозов. В зарубежной литературе лес рассматривается как основной элемент лесной экосистемы, включающий много моделей. На рисунке 7.7 показана структура лесной экосистемы, описанной известным финским учёным Куусела.

В. В. Антанайтис, Н. Н. Свалов и Д. П. Столяров отмечают, что при рассмотрении леса следует различать две лесные системы: природный, или естественный, и хозяйственный лес. Естественный лес, по определению Н. Н. Свалова и Д. П. Столярова, как саморегулирующая система не отмирает и не уступает территорию другим видам растительности при естественном своем развитии.

Выше отмечено, что лес является открытой системой (есть входные и выходные связи с окружающей средой); динамической системой (постоянно развивается в пространстве и во времени); саморегулирующейся системой (самостоятельно компенсирует помехи внутри своих границ, например, восстанавливается после относительно небольшой вырубki); мультистабильной системой: лесу свойственна

высокая способность реагировать на различные помехи.

Хозяйственный лес отличается от естественного тем, что человек в хозяйственном лесу, используя объективные законы природы, целенаправленно регулирует систему. О применении системного подхода для разработки комплекса мероприятий, включающих биологическую и хозяйственную подсистему, впервые сообщили С. А. Дыренков, а также К. К. Буш и И. К. Иевинь. С тех пор этот метод находит свое применение. При этом все авторы обычно исходят из того, что оптимизировать все желаемые параметры биогеоценоза невозможно. Так, повышение запасов древесины на 1 га путем создания монокультур хвойных пород ведет к снижению их устойчивости и сужению биологического разнообразия.



Рисунок 7.7 – Структура лесной экосистемы, основные потоки

энергии и круговороты веществ

Любое хозяйственное мероприятие преследует конкретную цель. Для ее достижения мы изменяем отдельные компоненты биогеоценоза, их взаимоотношения и регулирующие связи. Например, проводя осветления, ставится цель обеспечить рост сосны. Для этого убираем березу, изменяя состав компонентов системы и их связи.

При проведении исследований такого рода есть много трудностей. Сюда входит метод отбора проб (организация выборки), определение количества измеряемых переменных. Обычно последних мало, но иногда бывает и слишком много, что ведет к накоплению.

Изучение вероятностных событий, а это наиболее распространенная задача в лесоведческих исследованиях, требует фиксации фона, что часто сделать невозможно. Фиксация заменяется учетом комплекса условий, при которых идет искомый процесс. От успешного решения этой задачи в основном зависит успех работы.

В качестве примера вспомним, что в свое время недостаточное изучение варьирования и динамики фона (среды) свело на нет результаты обширных исследований по экологии растений, что отметил Грейг-Смит. Подобным образом предположения о селекции деревьев на основе некоторых морфологических признаков оказались несостоятельными. Например, в 50-е годы в Беларуси выявили «зеленокорую» осину, которая была крупнее «серокорой». Потом оказалось, что не учли фон (освещенность), и все теоретические построения рухнули. Возле г. Казани, в 1912–1913 гг. на большой площади создали географические культуры. Лесоводы провели большую работу по их посадке и выращиванию. В числе вариантов опыта представлено большинство географических районов России в границах того времени, включая Польшу, Финляндию, часть нынешней Турции и др. Но при посадке не учли рельеф, который сильно повлиял на ход роста, и результаты исследований обесценились.

При проведении хозяйственных мероприятий очень важна стыковка биологических и хозяйственных (технических) подсистем. Схема построения такой системы была предложена К. К. Бушем и И. К. Иевенем. Она показана на рисунке 7.8. На этой схеме каждая из подсистем построена по правилам теории систем.

Когда биологическая подсистема всесторонне обсуждена (один процесс может иметь несколько критериев), то начинается разбор экономических и технических возможностей реализации мероприятия. Они (возможности) заключаются в выяснении необходимых связей, которые ограничивают, а затем описывают процесс достижения цели. Обычно речь идет не об оптимизации, а о достижении некото-

рого компромиссного решения.

Так, сегодня экономические и технические возможности не позволяют обеспечить применение закрытого дренажа при проведении гидротехнической мелиорации в лесу или сохранение оптимальной суммы площадей сечений при проведении прореживаний и проходных рубок с применением многооперационных лесозаготовительных машин.

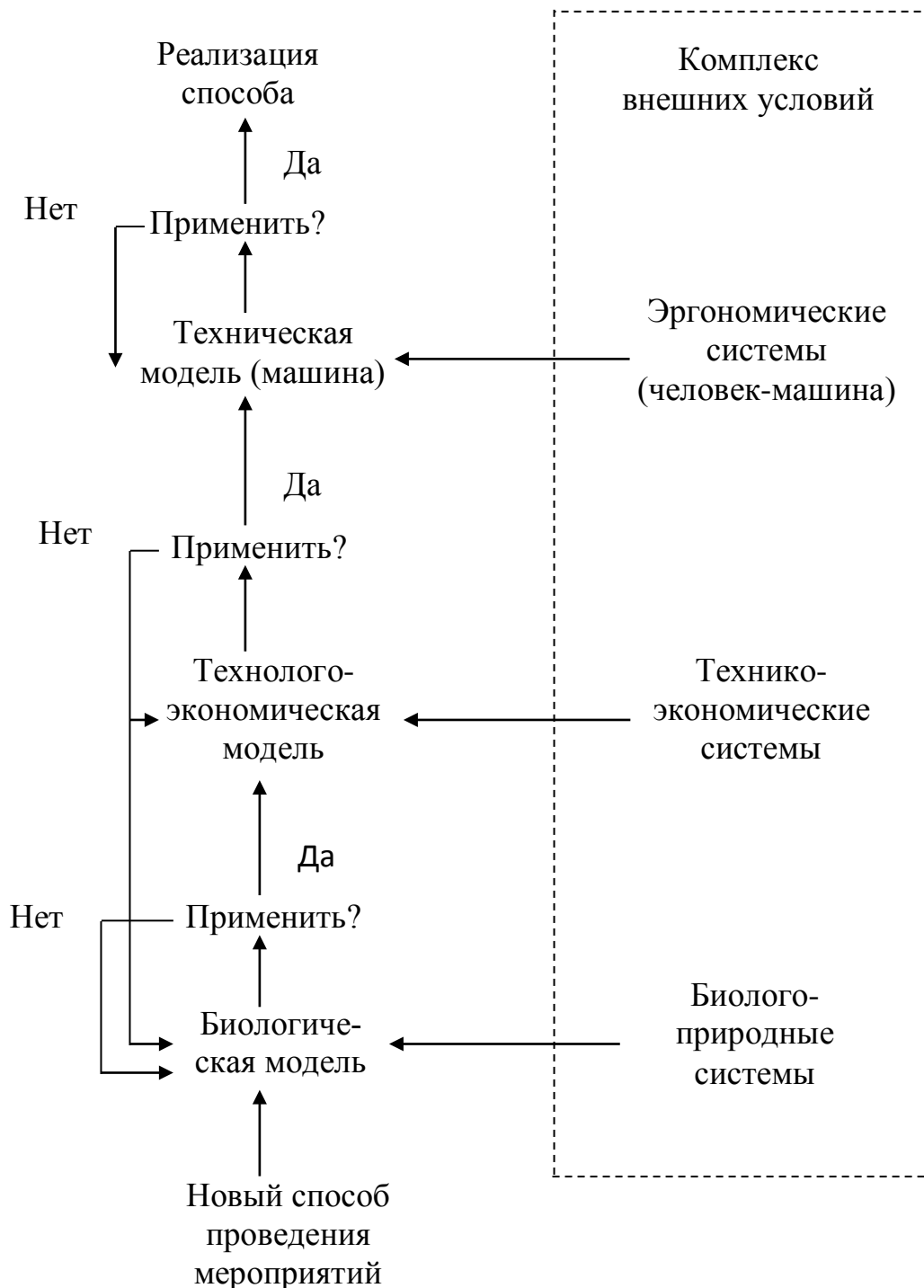


Рисунок 7.8 – Схема разработки комплексной системы

хозяйственных мероприятий

При завершении разработки названной сложной системы (рисунок 7.8) подбирается система лесохозяйственных машин, которая позволяет обеспечить проведение намеченных мероприятий. Часто в подобных случаях возникает потребность в конструировании новых машин. В такой работе принимают участие специалисты разного профиля, в том числе и по системному анализу. Здесь важно, чтобы выход одной подсистемы служил входом последующей, то есть результаты исследований одной дисциплины без переработки использовались как исходные данные для другой.

Материалом для построения биологической подсистемы (левая часть рисунка 7.8) послужили полевые эксперименты: закладка пробных площадей и другие работы. Вход биологической подсистемы обеспечен данными о классах бонитета и размерах текущего прироста по запасу наличного древостоя. Выравнивание распределения числа стволов по толщине приведено исходя из посылки, что эмпирические функции распределения частот измеренных переменных близки к нормальной кривой. Понижение продуктивности древостоев с удалением от осушителя описано линейными зависимостями. Выход – результаты регрессионного анализа – является входом технологико-экономической подсистемы и возбуждает процесс, который выражается в расчетах размера дохода и расходах на строительные работы и амортизацию сооружений. Определяется размер чистого дохода при разных расстояниях между осушителями. Выход – рекомендуемые расстояния между осушителями.

Разбор результатов процессов обоих подсистем показывает, что технические и экономические ограничения не позволяют применить интенсивность осушения, которая обеспечила бы наиболее высокое продуцирование древесины – это слишком увеличивает расходы. Кроме того, важным ограничением являются потери продуктивной лесной площади под трассами каналов. Заслуживает внимание обратная связь. Так, увеличение продуктивности древостоев влияет на интенсивность осушения, понижая уровень грунтовых вод, что ведет к увеличению транспирации, перераспределению осадков и т. д.

Основные соображения обратной связи технологико-экономической подсистемы определяются тем, что применение закрытого дренажа сокращает ширину трасс, что в свою очередь ведет к увеличению запасов и стоимости древостоя.

Пример построения такой системы для конкретной задачи виден на рисунке 7.9.



Рисунок 7.9 – Использование системного подхода в области гидромелиорации

Приведем еще один пример из другой, чисто хозяйственной (экономической) области. Известно, что в этом случае системы будут искусственные, то есть построенные специально человеком с определенной целью. Схематически изобразим место лесного хозяйства в системе рыночной экономики, которое приводит Греггерсен (рисунок 7.10).

Основными движущими силами приведенной системы являются спрос и предложение. При этом под спросом понимаем то количество товара, которое купят потребители по данной цене, в данной местности, в данное время, а предложение – это то количество продукции, которое поставщики (производители) будут продавать по данной цене, в данной местности, в данное время. В рыночной системе спрос почти всегда равен предложению при какой-то определенной цене. На рынке лесных товаров и услуг потребительский спрос взаимодействует с предложением лесных предприятий, в результате чего определяются цены и объем продукции, которые будут потребляться

в данное время в данном районе.

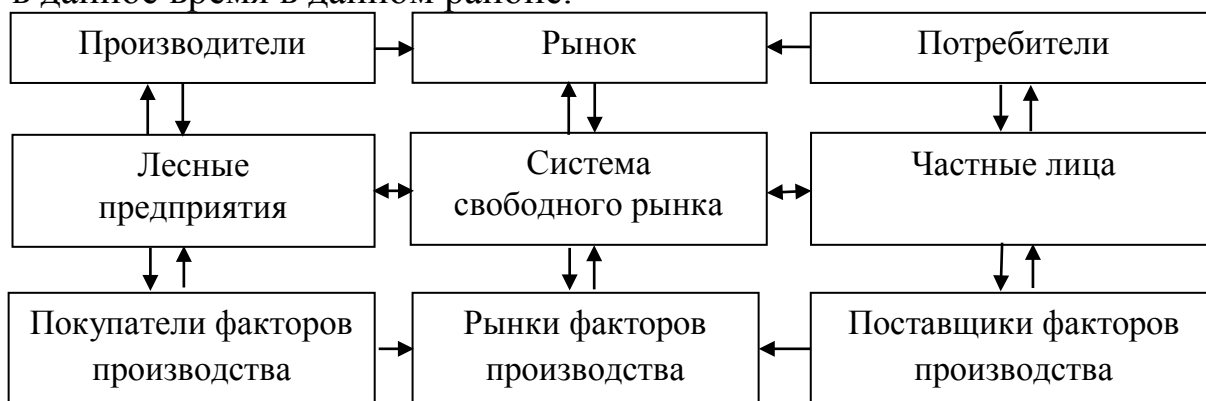


Рисунок 7.10 – Лесные предприятия в системе свободного рынка

В то же время спрос производителя на факторы производства (землю, труд и капитал) влияет на частное предложение этих факторов производства, в результате чего определяются цены затрат (заработная плата, кредитный процент банка, плата за аренду земли или стоимость земли при ее продаже и т. д.) и общая величина затрат, которые будут использованы в производстве.

Для примера на рисунке 7.11 показана упрощенная модель лесохозяйственного производства, разработанная В. В. Степиным.

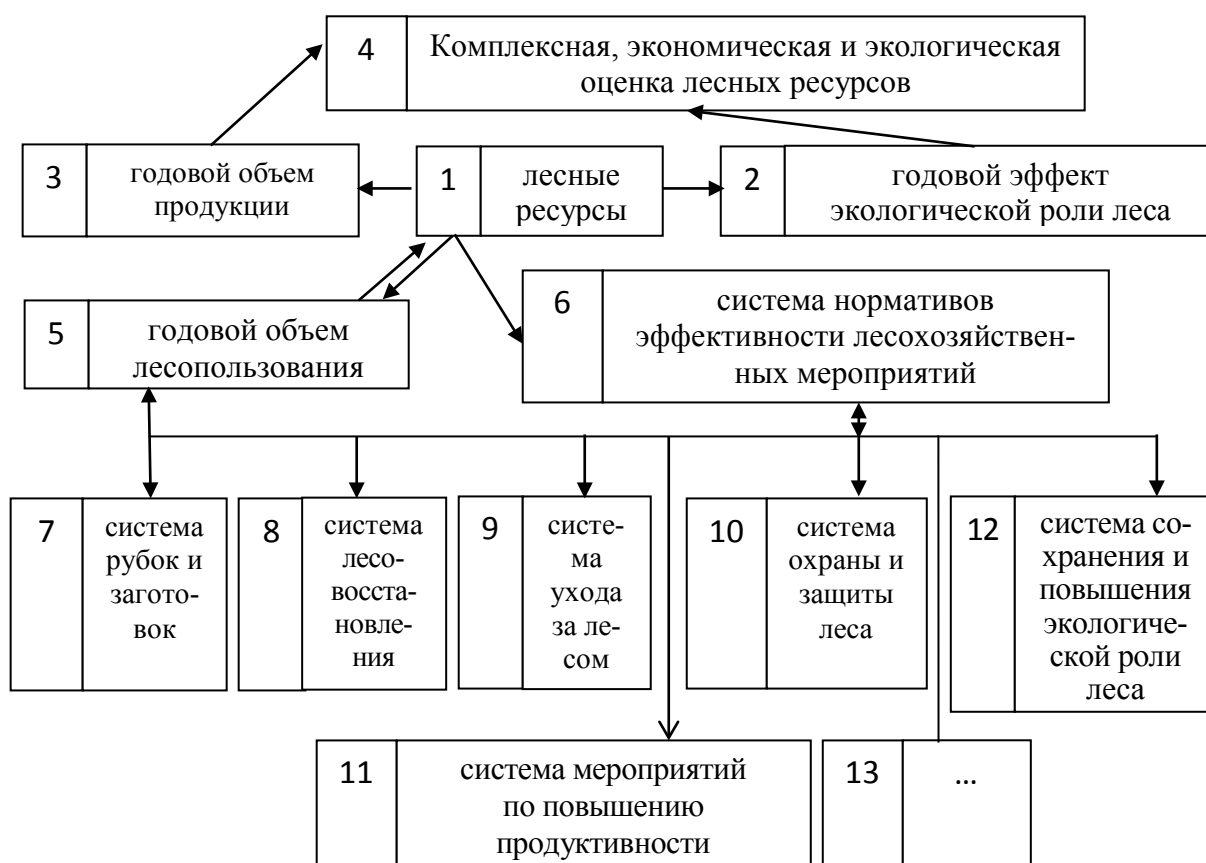


Рисунок 7.11 – Модель хозяйственно-экономических связей в лесном хозяйстве

Системный анализ должен предшествовать разработке модели (математической или иной) некоторого явления. Такую модель, как и предварительный анализ системы, в состоянии сделать только высококвалифицированный специалист в конкретной области. Все сказанное относится и к лесному хозяйству. Поэтому схемы, описывающие структуру и систему лесного хозяйства и его основные связи, обычно предлагают известные ученые или крупные практики.

Хозяйственная деятельность в лесу связана как с биологическими системами (природными районами, ландшафтами, насаждениями, древостоями, деревьями), так и с искусственными хозяйственными: лесхоз, управление лесами, и так далее. На любом уровне лесохозяйственное производство достаточно сложно. Поэтому каждый из блоков на рисунке 7.11 можно рассматривать как модуль, представляющий новый набор сложных систем.

7.4.3 Лесоустройство как система

Лесоустройство – часть общей системы лесного хозяйства. Его определение и функции, методология и организация описаны в известных учебниках М. М. Орлова; С. С. Мурахтанова, Н. Н. Моисеева, В. А. Мороза, Д. П. Столярова, В. Е. Ермакова и др. Оно имеет свои функции, отличия и занимает особое место в лесном хозяйстве. Поэтому лесоустройство как отдельную систему рассмотрим более подробно.

Лесоустройство представляет собой систему проведения лесоинвентаризации лесного фонда и мониторинга за его состоянием, ведения лесного кадастра, составления проектов организации и развития лесного хозяйства и авторского контроля за их выполнением, а также определения направления и прогноза развития лесного хозяйства и лесопользования на перспективу.

Лесоустройство имеет дело с хозяйственным лесом. Уже проведение первого лесоустройства в условиях малоинтенсивного хозяйства говорило о том, что природный лес начал постепенно превращаться в хозяйственный.

В лесоустройстве в силу особенностей его функций раньше чем в других направлениях лесного хозяйства начали применять моделирование, компьютеризацию и теорию систем. Можно вспомнить работы такого рода, выполненные в Германии (Курт), в СССР (В. Н. Бурнев-

ский, С. А. Соловьев, В. В. Антанайтис, К. Е. Никитин, А. З. Швиденко; О. А. Атрощенко, В. Ф. Багинский, и др.) и в других странах.

Лесоустройство способствует превращению природного леса в хозяйственный, а затем разрабатывает и доводит до проектного уровня методы и приемы регулирования хозяйственного леса как открытой, динамической, мультистабильной и саморегулирующейся системы. Лесоустройство выполняет много функций, которые в соответствии с модульным строением сложных систем можно объединить в несколько групп: сбор информации, ее обработка, составление проекта организации и развития системы лесного хозяйства, контроль проектирования, повторный сбор информации, а также применение методов регулирования лесного фонда с целью оптимизации решения задачи, реализующей основную цель лесного хозяйства.

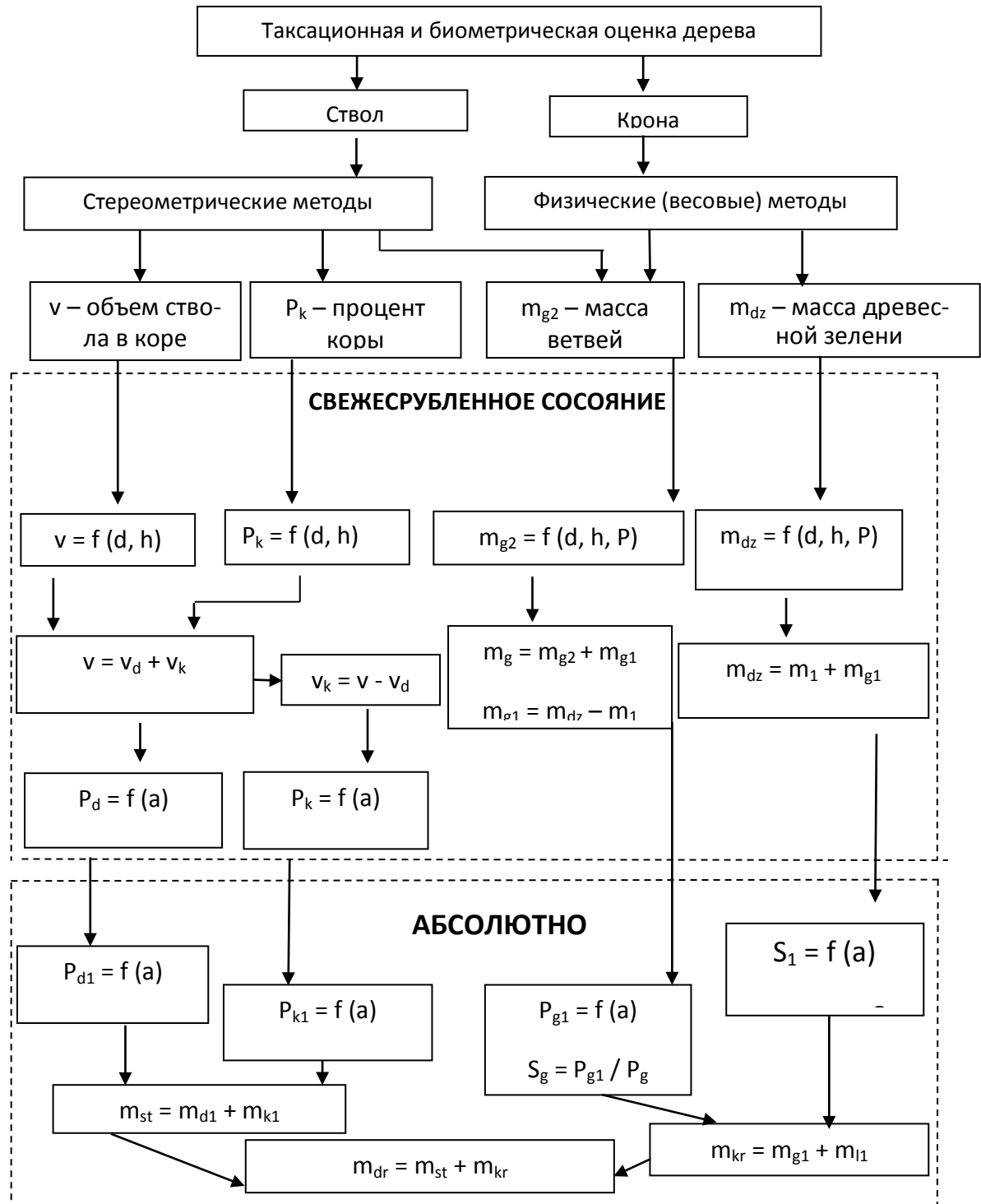
Регулирование лесного фонда с точки зрения теории систем – наиболее высокая степень проведения лесоустройства. Методами регулирования являются актуализация лесного фонда, статистический метод учета происходящих изменений после проведения инвентаризации, авторский надзор и особенно проведение непрерывного лесоустройства. Последнее желательно применять в условиях интенсивного хозяйства, в частности, в Беларуси. Правда, пока оно проводится ограничено из-за финансовых трудностей.

Нормативные документы по лесоустройству разрабатываются в соответствии с теорией систем. Это значит, что проведение полевых работ, написание проекта и авторский надзор объединяются одной целью и делаются по единому плану.

В настоящее время лесоустройство в Беларуси полностью компьютеризировано. Имеются выделительные банки данных, которые широко используют для разных целей, но в основном для регулирования ведения хозяйства. Последнее позволяет задействовать каналы обратных связей и вносить коррективы в систему ведения лесного хозяйства объекта лесоустройства – лесхоза. Этим самым лесоустройство превращается в основной регулятор лесохозяйственного производства. Схема регулирования в лесном хозяйстве с помощью материалов лесоустройства показана на рисунке 7.12.

Получение исходных материалов для различных таксационных и лесоустроительных расчетов и обобщений тоже достаточно сложно. Даже использование готовых нормативов и таблиц часто превращается в проблему из-за их разобщенности и неоднородности.

Еще большие трудности требуется преодолеть при сборе исходного материала непосредственно в лесу, что требует детально разработанного методического подхода, а часто и значительных физических усилий. На рисунке 7.13 показана схема для расчета компонентов фитомассы одного дерева, разработанная П. И. Лакидой. Из нее видно, что даже для одного дерева требуется провести многочисленные измерения и расчеты, объединив их в общую систему.



d – диаметр дерева, h – высота дерева, v_d – объем дерева без коры, v_k – объем коры, P_i – процент i -го показателя

Рисунок 7.13 – Система расчета компонентов в надземной фитомассе дерева

Применение системного подхода для целей прогноза, чем тоже занимается лесоустройство, а также развития леса (и лесного хозяйства) приводит И. Я. Лиёпа. Сущность такого подхода заключается в том, что по состоянию в момент выполнения прогноза одной прогнозирующей системы определяется поведение в будущем другой прогнозируемой системы. При этом необходимо, чтобы обе системы были связаны между собой корреляционно и с опережением по времени одной по отношению к другой. Период опережения определяет величину периода прогноза, то есть дальность или лаг прогноза. Увеличить этот период можно путем выявления третьей системы, которая по отношению к первой является прогнозирующей. Инструментом здесь служит математическая модель, которая отражает закономерности воздействия прогнозирующей системы на прогнозируемую. При отсутствии прогнозирующей системы в явном виде для прогнозируемой системы выделяют совокупности основных дивергентных и ревергентных факторов.

Дивергентные факторы способствуют улучшению организации и увеличению многообразия структуры и функций системы, лучшему росту и развитию леса: удобрения, уход, защита и другие; повышают эффективность переработки и связывания системой вещества, энергии и информации. *Ревергентные факторы* уменьшают число элементов и модулей системы и приносят туда новые компоненты с антагонистическими свойствами по отношению к уже имеющимся. К таким факторам относятся промышленные выбросы, пожары, вырубki, избыточная рекреационная нагрузка и т. д. К сожалению, при прогнозах приходится в большей степени работать с ревергентными, а не с дивергентными факторами.

Сказанное можно пояснить примером составления таблиц хода роста и развития древостоя. Разработчики этих таблиц, подбирая старый древостой как прогнозирующую систему, предполагают, что тренд (ход роста) прогнозируемой системы (молодой древостой) будет близок к прогнозирующей. Естественно, это имеет место, если названные системы связаны между собой общими закономерностями роста, то есть при подборе серии пробных площадей надо обеспечить единство типа леса, бонитета, полноты, густоты, состава, происхождения, то есть один естественный ряд развития насаждения. Поэтому важно обращать особое внимание на подбор прогнозирующей системы: указательного насаждения, стационара, естественного ряда и т. д.

7.4.4 Возможности и перспективы использования системного анализа в лесном деле

Можно привести много других примеров применения системного анализа в лесном хозяйстве и лесоустройстве. Но и сказанного достаточно, чтобы сделать следующие выводы о том, что системный анализ в лесном хозяйстве предоставляет следующие возможности:

1) в лесоводстве позволяет рассмотреть сложные проблемы как единое целое и дает количественную оценку взаимосвязям между разными процессами;

2) дисциплинирует проведение исследований: заставляет уточнить вид, ранг и границы изучаемой системы, а также ее взаимоотношения с внешней средой и выявить соответствующие параметры;

3) позволяет экономить время и средства, затраченные на исследование, так как выход определенной подсистемы является входом следующей. Поскольку каждая подсистема разрабатывается специалистами своего профиля, то качество анализа проблемы в целом улучшается;

4) создает широкие возможности изучения систем разного ранга, характеризующие не только лесные биогеоценозы, но и позволяющие выявить пути комплексной механизации лесного хозяйства и увязать проблемы леса с потребностями и возможностями других отраслей;

5) дает возможность принимать взвешенные и обоснованные управленческие решения по организации лесного хозяйства, улучшению структуры управления им;

6) благодаря правильной организации лесоустройства, планирования и ведения лесного хозяйства обеспечивает ведение лесного хозяйства на принципах неистощительного, непрерывного и относительно постоянного лесопользования при сохранении и умножении экологических полезностей леса;

7) творческие дискуссии и личный контакт между специалистами разных направлений, неизбежные при разработке крупных проектов на принципах теории систем, способствуют развитию научной мысли и повышают ответственность специалистов и руководителей всех уровней за предлагаемые решения и их претворение в жизнь;

8) использование компьютеров, неизбежное при применении системного анализа делает все расчеты строже, более обоснованными и точными, что положительно сказывается на уровне ведения лесного хозяйства;

9) прогнозы, проекты и планы, составленные с использованием теории систем, обеспечивают оптимизацию управления отраслью и повышают ее эффективность;

10) использование теории систем позволяет своевременно вносить изменение в главные цели лесного хозяйства, предотвращая системный кризис и обеспечивая надежное и устойчивое развитие отрасли.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в учебнике основные положения системного анализа являются лишь первым ознакомлением широкого круга лесоводов с этой полезной и увлекательной областью знания. При реализации крупных проектов, при проведении научных исследований и в других случаях необходимо использование методов системного анализа. Может оказаться, что знаний, полученных из настоящего учебника, недостаточно и потребуются дополнительное изучение дисциплины. Сделать это, базируясь на уже приобретенных знаниях, будет легче и проще, чем начинать изучение системного анализа с самого начала.

Любой специалист должен учиться постоянно. В лесном хозяйстве действует четко организованная система повышения квалификации руководителей и специалистов. Это позволяет решать возникающие проблемы на современном уровне. В стройной системе переподготовки кадров должно найтись место и для продолжения изучения системного анализа.

Даже краткий курс системного анализа, который изложен в учебнике, позволяет специалистам лесного хозяйства, и особенно, научным работникам, более организованно и многопланово подходить к решению возникающих задач. Решения, которые при этом будут приняты, окажутся более обоснованными и приведут к получению более высокого народнохозяйственного эффекта.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Амосов, Н. М. Биологические системы / Н. М. Амосов // Энциклопедия кибернетики. – Киев : КГУ, 1979. – С. 156–159.
- 2 Антанайтис, В. В. Современное направление лесоустройства / В. В. Антанайтис. – М. : Лесная промышленность, 1977. – 280 с.
- 3 Анучин, Н. П. Теория и практика организации лесного хозяйства / Н. П. Анучин. – М. : Лесная промышленность, 1977. – 176 с.
- 4 Атрощенко, О. А. Система лесохозяйственной информации по управлению лесными ресурсами / О. А. Атрощенко // Лесоведение и лесное хозяйство : сборник научных трудов. – Минск : БТИ, 1984. – № 18. – С. 18–22.
- 5 Атрощенко, О. А. Системный подход и математическое моделирование лесных биогеоценозов / О. А. Атрощенко // Ботаника. Исследования. – Минск: Наука и техника. – 1984. – Вып. XXVI. – С. 21–23.
- 6 Атрощенко, О. А. Моделирование роста леса и лесохозяйственных процессов / О. А. Атрощенко. – Минск : БГТУ, 2004. – 249 с.
- 7 Антанайтис, В. В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загреев. – М. : Лесная промышленность, 1981. – 200 с.
- 8 Багинский, В. Ф. Лесопользование в Беларуси / В. Ф. Багинский, Л. Д. Есимчик. – Минск : Беларуская навука, 1996. – 367с.
- 9 Багинский, В. Ф. Спелость леса в системе устойчивого природопользования / В. Ф. Багинский, А. В. Неверов, О. В. Дапицкая // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия V11. Экономика и управление. – 2002. – Вып. X. – С. 207–216.
- 10 Багинский, В. Ф. Рациональное использование лесных ресурсов в Республике Беларусь и их экологического потенциала в системе национальной стратегии устойчивого развития: реализация и пути совершенствования / В. Ф. Багинский // Природные ресурсы. – 2002. – № 3. – С. 25–35.
- 11 Багинский, В. Ф. Новая парадигма лесного хозяйства Республики Беларусь – путь инновационного развития / В. Ф. Багинский // Наука и инновации. – Минск : НАН Беларуси, 2004. – № 5. – С. 49–56.
- 12 Багинский, В. Ф. Системный анализ в лесном хозяйстве: учебное пособие / В. Ф. Багинский. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 168 с.
- 13 Багинский, В. Ф. Таксация леса: учебное пособие / В. Ф. Багинский. – Гомель : ГГУ, 2013. – 416 с.
- 14 Берталанфи, Л. История и статус общей теории систем / Л. Берталанфи // Системные исследования: ежегодник. – М. : Стати-

стика, 1973. – С. 20–38.

15 Бир, С. Кибернетика и управление производством / С. Бир. – М. : Наука, 1965. – 170 с.

16 Бурневский, Ю. И. Лесоводство с точки зрения теории систем / Ю. И. Бурневский, Г. А. Соловьев // Сборник научных трудов Ленинградского НИИ лесного хозяйства. – Л. : ЛенНИИЛХ. – Вып. 22. – С. 94–97.

17 Бусленко, Н. П. Лекции по теории сложных систем / Н. П. Бусленко, В. В. Калашников, И. Н. Коваленко. – М. : Наука, 1973. – 252 с.

18 Буш, К. К. Применение системного анализа в лесоведении / К. К. Буш, И. К. Иевинь // Лесоведение. – 1975. – № 1. – С. 15–19.

19 Вагнер, Г. Основы исследования операций / Г. Вагнер. – М. : Статистика, 1972. – Т. 1. – 268 с.

20 Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Минск : Наука и техника, 1982. – 326 с.

21 Гиг, Дж. ван. Прикладная общая теория систем: в 2 т. / Дж. ван Гиг. – М. : Наука, 1981. – 628 с.

22 Грейг-Смит, П. Количественная экология растений / П. Грейг-Смит. – М. : Мир, 1967. – 349 с.

23 Губанов, В. А. Введение в системный анализ / В. А. Губанов, В. В. Захаров, А. Н. Коваленко. – Л. : ЛГУ, 1988. – 228 с.

24 Дыренок, С. А. Лесоводство с позиций системного анализа / С. А. Дыренок // Лесоведение. – 1975. – № 6. – С. 3–9.

25 Ермаков, В. Е. Лесоустройство / В. Е. Ермаков. – Минск : Высшэйшая щкола, 1993. – 256 с.

26 Загреев, В. В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев / В. В. Загреев. – М. : Лесная промышленность, 1978. – 240 с.

27 Кивисте, А. К. Функции роста леса / А. К. Кивисте. – Тарту : Эст. СХА, 1988. – 171 с.

28 Клилана, Д. Системный анализ и целевое управление / Д. Клилана, В. Кинг. – М. : Мир, 1974. – 347 с.

29 Колтунова, А. И. Моделирование роста и продуктивности древостоев (на примере лесообразующих пород Северной Евразии) : автореф. дис. на соиск. уч. ст. д. с.-х. наук / А. И. Колтунова. – Екатеринбург : УГЛУ, 2004. – 40 с.

30 Кузьмичев, В. В. Закономерности роста древостоев / В. В. Кузьмичев. – Новосибирск : Наука, 1977. – 160 с.

31 Лакида, П. І. Осичники східного Полісся України – надземна фітомаса та депонований вуглець / П. І. Лакида, А. М. Білоус, Р. Д. Ва-

- силишин. – Кореднь-Шевченківський : Майдаченко, 2010. – 255 с.
- 32 Лапицкая, О. В. Эколого-экономическая спелость леса / О. В. Лапицкая // Лесное и охотничье хозяйство. – 2001. – № 1. – С. 8–9.
- 33 Лапицкая, О. В. Принципы определения спелостей леса в условиях рыночной экономики / О. В. Лапицкая // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. трудов. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси. – 2005. – Вып. 64. – С. 352–363.
- 34 Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений / О. И. Ларичев. – М. : Наука, 1979. – 186 с.
- 35 Досицкий, К. Б. Эталонные леса / К. Б. Лосицкий, В. С. Чуенков. – М. : Лесная промышленность, 1980. – 191 с.
- 36 Мелехов, И. С. Лесоведение / И. С. Мелехов. – М. : Лесная промышленность, 1980. – 406 с.
- 37 Месарович, М. Общая теория систем : Математические основы / М. Месарович, И. Такахара. – М. : Наука, 1978. – 482 с.
- 38 Моисеев, Н. А. Воспроизводство лесных ресурсов / Н. А. Моисеев. – М. : Лесная промышленность, 1980. – 263 с.
- 39 Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука, 1981. – 243 с.
- 40 Моисеенко, Ф. П. О закономерностях в росте, строении и товарности древостоев : доклад, обобщающий содержание опубликованных работ на соискание учёной степени доктора с.-х. наук. / Ф. П. Моисеенко. – Киев : УСХА, 1965. – 78 с.
- 41 Морозов, Г. Ф. Учение о лесе / Г. Ф. Морозов. – М.-Л. : Госиздат, 1925. – 367 с.
- 42 Таксация товарной структуры древостоев / А. Г. Мошкалев [и др.]. – М. : Лесная промышленность, 1982. – 157 с.
- 43 Никитин, К. Е. Методы и техника обработки лесохозяйственной информации / К. Е. Никитин, А. Е. Швиденко. – М. : Лесная промышленность, 1978. – 270 с.
- 44 Николаев, В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. – Л. : ЛГУ, 1985. – 335 с.
- 45 Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / под ред. В. Ф. Багинского. – М. : ЦБНТИ-лесхоз, 1984. – 300 с.
- 46 Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М. : Мир, 1975. – 740 с.
- 47 Орлов, М. М. Лесоустройство / М. М. Орлов. – Л. : Гостехиздат, 1927. – Т. 1. – 428 с.
- 48 Петров, А. И. методология исследования операций и системного анализа / А. И. Петров, М. Ф. Роси, В. И. Ульянов. – М. : МГУ,

1982. – 216 с.

49 Писаренко, А. И. Роль модельных лесов в стратегии устойчивого управления лесами / А. И. Писаренко, В. В. Страхов, А. Н. Филипчук // Лесное хозяйство. – 1995. – № 4. – С. 5–8.

50 Писаренко, А. И. Глобальное управление бореальными лесами : целесообразность или неизбежность / А. И. Писаренко // Устойчивое развитие бореальных лесов. Труды международной конференции. – М. : МАИБЛ, 1997. – С. 3–16.

51 Правила по отводу и таксации лесосек в лесах Республики Беларусь. – Минск : Минлесхоз Республики Беларусь, 2006. – 66 с.

52 Правила проведения лесоустройства лесного фонда. – Минск : Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. – 2008. – 104 с.

53 Правила рубок леса в лесах Республики Беларусь. ТКП 143–2008 (02080). – Минск : Минлесхоз Республики Беларусь, 2009. – 89 с.

54 Рожков, Л. Н. Методические подходы расчета углеродных пулов в лесах Беларуси / Л. Н. Рожков // Труды БГТУ. – 2011. – № 1. – С. 62–70.

55 Санитарные правила в лесах Республики Беларусь: ТКП 026–2006 (02080). – Введ. 07.06.04. – Минск : Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. – 2006. – 32 с.

56 Свалов, Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н. Н. Свалов. – М. : Лесная промышленность, 1979. – 216 с.

57 Степин, В. В. Применение математических моделей в лесном хозяйстве / В. В. Степин. – М. : ЦБНТИ-лесхоз, 1975. – 48 с.

58 Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси на 2016–2030 годы. – Минск : Минлесхоз Республики Беларусь, 2015. – 128 с.

59 Столяров, Д. П. Закономерности роста и развития разновозрастных ельников таежной зоны РСФСР и основы организации выборочной формы хозяйства в них : автореферат дисс. на соискание учёной степени доктора с.-х. наук / Д. П. Столяров. – Л. : ЛТА, 1975. – 54 с.

60 Сукачев, В. Н. Основы лесной типологии и биоценологии / В. Н. Сукачев. – М. : Наука, 1972. – Т. 1. – 418 с.

61 Тимофеев, В. П. Второй ярус как условие повышения устойчивости и продуктивности сосновых насаждений / В. П. Тимофеев // Лесное хозяйство. – 1974. – № 2. – С. 17–24.

62 Ткаченко, М. Е. Общее лесоводство / М. Е. Ткаченко. – М.-Л.: Госиздат, 1955. – 600 с.

63 Тюрин, А. В. Основы хозяйства в сосновых лесах / А. В. Тю-

рин. – М. : Госиздат, 1938. – 299 с.

64 Хильми, Г. Ф. Теоретическая биогеофизика леса / Г. Ф. Хильми. – М. : Наука, 1957. – 205 с.

65 Швиденко, А. З. Теоретические и экспериментальные обоснования системы инвентаризации горных лесов зоны интенсивного ведения лесного хозяйства : автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора с.-х. наук / А. З. Швиденко. – Киев : УСХА, 1981. – 38 с.

66 Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / А. З. Швиденко [и др.]. – Киев : Урожай, 1987. – 559 с.

67 Штофф, В. А. Моделирование и философия / В. А. Штофф. – Л. : ЛГУ, 1966. – 202 с.

68 Энциклопедия кибернетики. – Киев : Украинская советская энциклопедия. – 1975. – Т. 1. – 608 с.

69 Эшби, У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. – М. : Мир, 1959. – 402 с.

70 Юдицкий, Я. А. Моделирование закономерностей роста древостоев как основа обновления лесотаксационной информации : автореф. дис. ... к. с.-х. наук / Я. А. Юдицкий. – Киев : УСХА, 1982. – 20 с.

71 Asmann, E. Waldertragekunde / E. Asmann. – München-Bonn-Wien: BLW, 1961. – 327 s.

72 Prodan, M. Holzmesslehre / M. Prodan. – Frankfurt am Mein: Sauerlandere Verlag, 1965. – 644 s.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Системный анализ как научная дисциплина	7
2 Основные определения системного анализа	9
2.1 Определение систем.....	9
2.1.1 Элементы и связи в системе.....	9
2.1.2 Структура и иерархия системы.....	14
2.2 Модульное строение системы.....	21
2.3 Процессы в системе.....	26
2.4 Целенаправленные системы и управление.....	29
3 Принципы системного подхода	38
3.1 Формулировка и обсуждение принципов	38
3.2 Использование принципов системного подхода.....	54
4 Методология системных исследований	58
4.1 Формирование общих представлений о системе.....	58
4.2 Углубленное изучение системы.....	63
4.3 Моделирование системы и её сопровождение	69
4.4 Особенности создания новой системы	74
5 Исследование действий и решений	76
5.1 Процедуры, операции, действия, и их основные ха- рактеристики	76
5.2 Локальные цели и связи между ними.....	84
5.3 Система действий, операционные модели.....	92
5.4 Запись структуры действий	94
6 Проблема принятия решения	97
6.1 Постановка задачи.....	97
6.2 Декомпозиция и композиция задачи принятия решения. 103	
6.2.1 Декомпозиция задачи и оценка свойств альтернатив... 103	
6.2.2 Композиция оценок и сравнений..... 109	
6.2.3 Множество Парето и методы его решения..... 111	
6.3 Организация принятия решения	119
6.4 Формализованные и неформализованные действия, интерактивные системы.....	126
7 Практика и перспективы применения системного анализа в лесном хозяйстве	130
7.1 Общие особенности системного подхода в лесных исследованиях, история их развития и современное состояние.....	130
7.2 Применение системного анализа в исследовании лес-	134

	ных биоценозов как динамической системы	
7.3	Системный анализ отрасли «Лесное хозяйство» с целью определения ее парадигмы	141
7.4	Функционирование отрасли «Лесное хозяйство», как сложной системы	153
7.4.1	Информационная система лесного хозяйства	153
7.4.2	Системный анализ лесохозяйственной деятельности ..	155
7.4.3	Лесоустройство как система	162
7.4.4	Возможности и перспективы использования системного анализа в лесном деле	166
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		168
ЛИТЕРАТУРА		169

Учебное издание

Багинский Владимир Феликсович

**Применение системного анализа
в лесном хозяйстве**

Учебник

Редактор *В. И. Шкредова*
Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 24.11.2016. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 10,23.
Уч.-изд. л. 11,18. Тираж 70 экз. Заказ 667.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013.
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.
Ул. Советская, 104, 246019, Гомель.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ