

# **УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 23.03.03*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра транспортно-технологических процессов и машин

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 23.03.03*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020

УДК 629.3.017 (073)

**УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ:** Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *Ю.Н. Кацуба*. СПб, 2020. 45 с.

Приведены описания практических занятий по дисциплине «Управление техническими системами». Методические указания к практическим занятиям сопровождаются кратким теоретическим введением, пояснениями последовательности выполнения и отчетности по работе.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профиля «Автомобили и автомобильное хозяйство».

Научный редактор проф. *А.С. Афанасьев*

Рецензент *В.Н. Ложкин* (Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России)

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2020

## Введение

Целью изучения дисциплины «Управление техническими системами» является освоение принципов построения, анализа и синтеза современных технических систем, формирование знаний по общим и специфическим вопросам управления большими техническими системами на примере производства технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Управление - процесс преобразования информации о состоянии системы в определенные действия, переводящие управляемую систему из исходного в заданное состояние.

Целью системы является ее возможное будущее состояние, достижимое с помощью определенных действий, являющихся следствием принимаемых решений.

Под решением понимается выбор на основе критериев из многих альтернатив самого или нескольких сценариев развития системы. На основании решения осуществляется управление системой.

При принятии решения необходимо выбрать один из способов или комбинацию.

В качестве критерия при принятии решения используется понятие целевой функции. Целевая функция устанавливает количественные связи между уровнем достижения поставленных целей и факторами, которые влияют на состояние системы. Конкретное значение целевой функции может быть показателем эффективности данной системы. Экстремальное (максимальное/минимальное) значение целевой функции соответствует оптимальному управлению.

Практические занятия предусматривают закрепление знаний полученных по следующим разделам курса:

- управление большими техническими системами;
- цели системы;
- методы поиска, выбора и принятия решений;
- жизненный цикл и обновление больших технических систем.

Отчёт по работе представляется на следующее после выполнения работы занятие.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1**  
**Дерево целей и дерево систем автомобильного транспорта и технической эксплуатации**

**1. Цели практического занятия**

- углубление теоретических знаний по вопросам управления техническими системами;
- освоение методов достижения целей стоящих перед технической системой.

**2. Общие положения**

Управление является важной функцией инженерно-технической службы (ИТС) автомобильного транспорта. В общем виде управление определяется как функция системы, ориентированная на сохранение (или улучшение) основных качественных показателей в условиях изменения окружающей среды или выявление и реализацию некоторой программы, обеспечивающей устойчивость функционирования и достижение системой поставленной цели (целей).

Собственно управление начинается с получения (обработки) информации о состоянии системы, на основе которой принимается решение, за которым следует действие, переводящее систему из одного (исходного) состояния в другое, желаемое (заданное) состояние. Например, наличие информации о причинах отказов и продолжительности простоев автомобилей позволяет выявить участки автотранспортного предприятия (АТП), улучшение работы которых окажет влияние на повышение коэффициента технической готовности. Если при этом достигается улучшение состояния системы, то управление называется рациональным, а при достижении оптимального состояния – оптимальным.

Программно-целевой подход предполагает следующую схему планирования и управления: *цели – прогноз – программы – ресурсы – план (решение)- реализация плана – новые цели* и т.д.

2.1. Определение цели, стоящей перед управляемой системой или подсистемой (АТП, цехом, участком). Целью системы

является ее будущее (заданное) состояние. От правильного определения цели и задач зависят и выбираемые средства, причем цель подсистемы должна увязываться с целью системы более высокого ранга. Например, цели цеха (участка) АТП должны быть определены так, чтобы обеспечить техническую исправность автомобилей. Поставленные перед системой цели могут достигаться разными способами. Поэтому важно выявить все факторы, способствующие достижению поставленной цели, и установить среди них определенную очередность (долю реализации) с учетом важности каждого фактора.

Для этого формируют дерево целей (ДЦ) [4, 5], т.е. упорядоченную иерархию целей, выражающую их соподчинение и взаимосвязь. В дереве целей система целей представляется в виде графа (рис. 1).

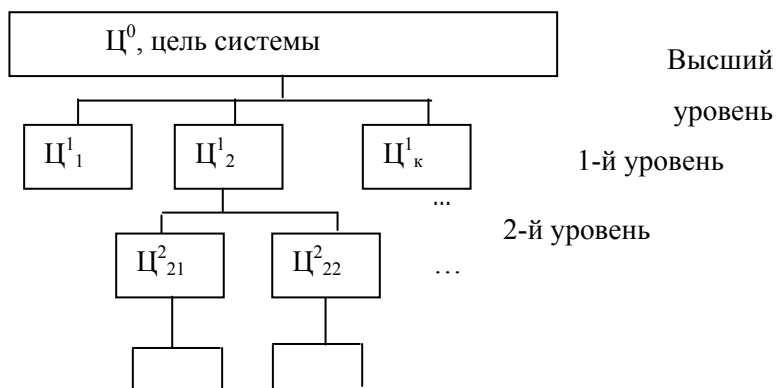


Рис. 1. Схема дерева целей (ДЦ)

Цели системы характеризуются целевыми нормативами (ЦН), которые количественно или качественно характеризуют состояние системы при реализации поставленных задач.

Целевые показатели (ЦП) определяют возможные состояния системы, т.е. степень выполнения целевых нормативов при имеющихся временных (ресурсных и др.) ограничениях. Например, стоимость производственной базы при проектировании или реконструкции (ЦН) и фактическая стоимость функционирующего

АТП (ЦП); планируемое и фактическое значение коэффициента технической готовности и т.д. Отношение ЦП к ЦН характеризует уровень реализации цели.

2.2. В общем виде цели низшего уровня можно считать задачами, решение которых необходимо для достижения цели высшего уровня. Однако конкретные пути достижения конечной (основной, генеральной) цели могут быть различными. Поэтому после построения ДЦ формируют дерево систем (ДС) или программ (методов). Отличие ДЦ от ДС состоит в том, что в первом вершины дерева характеризуют цели (функции), а во втором – объекты и системы, которые реализуют эти функции. При этом выделяются факторы (подфакты) одного уровня, влияя на которые можно наиболее эффективно продвигаться к поставленной цели.

2.3. Поэтому одной из важных задач управления является упорядочение целей или ранжирование целей и систем каждого уровня по важности. При этом подцели взвешиваются по степени влияния на цель, а подсистемы – по вкладу в достижение общих (и частных) целей. Наиболее простым методом ранжирования является экспертиза, основанная на выявлении и систематизации коллективного мнения квалифицированных специалистов [5]. Для целей ранжирования применяются также динамическое программирование и другие методы.

Взаимосвязи систем с функциональными целями позволяют оценить вклад каждой из подсистем (или подпрограмм) в реализацию частных (общих) целей и, таким образом, выделить наиболее важные подпрограммы. В общем случае необходимо сравнить несколько вариантов программ, не упуская при анализе возможные варианты достижения цели. Для этого используют анализ ранее примененных решений, обобщают отечественный и зарубежный опыт и т.д. Необходимо сравнить варианты решения проблемы по эффективности. Одним из распространенных методов является метод «эффективность – затраты», предусматривающий сравнение затрат всех ресурсов, направленных на данную программу (подпрограмму), с результатами действия системы (подсистемы).

2.4. Техническая эксплуатация автомобилей (ТЭА) является одной из подсистем автомобильного транспорта (АТ), которая в свою очередь является подсистемой транспортного комплекса. Целью высшего яруса (уровня) ДЦ транспортной программы является удовлетворение потребностей региона (области, страны) и населения в грузовых и пассажирских перевозках при экономичном расходовании всех видов ресурсов.

Одной из целей первого яруса (уровня) программы транспортного комплекса является повышение надежности и качества функционирования транспорта. Применительно к автомобильному транспорту эта цель конкретизируется следующими подцелями:

- повышением производительности подвижного состава;
- обеспечением экономичности перевозок и транспортных услуг;
- обеспечением нормативного уровня влияния транспортных средств на население, обслуживающий персонал и окружающую среду и др.

В свою очередь подцель «повышение производительности автомобиля» достигается:

- повышением технико-эксплуатационных свойств автомобиля;
- совершенствованием организации перевозок;
- улучшением условий эксплуатации;
- совершенствованием ТЭА и др.

Выделим важнейшие цели ТЭА:

- увеличение уровня работоспособности парка, которое оказывает влияние на прирост производительности транспортных средств, на ряд качественных показателей (регулярность, комфортабельность), а также на сохранность грузов;
- затраты на поддержание работоспособности парка и на защиту окружающей среды непосредственно сказываются на себестоимости перевозок;
- производительность труда персонала, обеспечивающего работоспособность парка, оказывает влияние на общую производительность труда всего персонала, занятого на транспорте.



Для ТЭА необходимо конкретизировать перечень показателей, например, уровень работоспособности парка, характеризуется частными показателями:

- коэффициентом технической готовности (к.т.г.);
- наработкой на отказы;
- вероятностью безотказной работы в течение смены (рейса);
- общим простым автомобилем в ремонте;
- ресурсом до капитального ремонта и списания и т.д.

При этом каждой цели соответствует ЦН, например, достижение к.т.г. заданной величины к определенному сроку; сокращение затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) на определенную величину и т.д.

Целевой показатель будет определять фактическую реализацию цели и характеризовать качество работы подразделений ИТС. Необходимо учитывать, что в зависимости от конкретной ситуации, ограничений и требований (нормативов) на первое место при анализе деятельности АТП может выступать одна из целей ТЭА. Например, поддержание уровня работоспособности стареющего парка транспортных средств связано с ростом затрат на ремонт и увеличением потребности в ремонтном персонале. Нехватка ремонтного персонала в свою очередь потребует повышения производительности труда, что сопровождается ростом вложений (затрат) на подготовку (учебу) персонала и т.д.

2.5. Эффективность ТЭА определяется следующими основными факторами и рядом подфакторов, составляющих ДС или программ.

Ц<sub>1</sub> – система организации ТО и Р, которая определяет рациональную стратегию поддержания и восстановления работоспособности автомобильного парка и создает нормативно-технологическое обеспечение мероприятиям ИТС. Отметим некоторые частные показатели:

- Ц<sub>11</sub><sup>1</sup> – повышение уровня нормативов системы ТО и Р;
- Ц<sub>12</sub><sup>1</sup> – совершенствование технологии, организации и управления ТО и Р;

–  $\text{Ц}_{13}^1$  – повышение адаптивности ТЭА к изменению конструкции узлов (агрегатов) и условиям их эксплуатации.

–  $\text{Ц}_2^1$  – производственно-техническая база (ПТБ), которая обеспечивает материальные условия выполнения рекомендаций системы ТО и Р:

–  $\text{Ц}_{21}^1$  – повышение уровня обеспеченности ПТБ;

–  $\text{Ц}_{22}^1$  – оптимизация мощности и структуры ПТБ;

–  $\text{Ц}_{23}^1$  – оптимизация пропускной способности, средств ТО и Р.

–  $\text{Ц}_3^1$  – персонал, уровень квалификации и заинтересованности которого создают условия для качественного выполнения ТО и Р, а также экономии ресурсов;

–  $\text{Ц}_4^1$  – система снабжения и резервирования, обеспечивающая ТЭА запасными частями, материалами;

–  $\text{Ц}_5^1$  – структура и возраст парка, которые определяют объем и характер необходимых работ ТО и Р;

–  $\text{Ц}_6^1$  – условия эксплуатации, которые влияют на надежность и, как следствие, на нормативы ТЭА и потребность в ТО и Р.

3. Студентам предлагается определить подфакторы (подсистемы) нижнего уровня ( $\text{Ц}_{ij}^2$ ) и классифицировать их по значению (весу) для достижения поставленной перед системой основной цели.

Вывод по проделанной работе.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### Учет неопределенности и риска при оценке эффективности проекта

#### 1. Цели практического занятия

- углубление теоретических знаний об учете факторов риска и неопределенности при анализе инвестиционных процессов и программ;

- освоение методов учета риска и неопределенности.

#### 2. Общие положения

Учет неопределенностей и риска при оценке эффективности проекта проводится следующими основными методами:

а) проверка устойчивости проекта;

- б) корректирование параметров проекта и нормативов;
- в) определение поправки на риск к коэффициенту дисконтирования;
- г) оценка ущерба или упущенной выгоды;

#### 2.1. Проверка устойчивости проекта

Для проверки устойчивости разрабатываются и сравниваются как минимум два сценария реализации проекта:

- а) «умеренно пессимистический» – вариант в наиболее вероятных условиях;
- б) «пессимистический» – вариант в наиболее неблагоприятных для его участников условиях.

Если во всех вариантах соблюдаются интересы участников проекта, а возможные неблагоприятные последствия устраняются или компенсируются, то проект считается устойчивым.

#### 2.2. Корректирование нормативов

- а) применение поправочных коэффициентов, учитывающих достоверность информации.

При выполнении расчётов в проектах обычно пользуются информационными материалами разного уровня достоверности – от высказываний отдельных экспертов, которые могут быть заинтересованы в оценках, до конкретной информации по опыту эксплуатации систем и изделий. В этих случаях используется классификация информации приведенная в таблице 1, на основе которой исходный показатель ( $\Pi_i$ ), полученный на основе информации  $i$ -того класса, при расчетах корректируется с помощью коэффициента  $K_i$ , зависящего от класса информации и вида оценок:

$$\Pi = K_i \cdot \Pi_i.$$

Нижняя граница поправочного коэффициента  $K_i^H$  используется при расчете показателей эффективности, а верхняя  $K_i^B$  – для расчета затрат.

- б) увеличение сроков реализации отдельных этапов работы на среднюю величину задержек, определяемую экспертно или по опыту реализации аналогичных проектов;

в) увеличение стоимости элементов и этапов проекта в результате проектных ошибок и необходимости перепроектирования;

г) учет запаздывания платежей, неритмичности поставок, сверхплановых отказов оборудования.

*Таблица 1*

Шкала количественной оценки корректирования нормативов с учетом качества информации

№	Характеристика	Класс	Коэффициент	
			к <sup>А</sup>	к <sup>В</sup>
1	Имеется ограниченный опыт эксплуатации изделия	10	0,8	0,2
2	То же в лабораторных или заводских условиях	9	0,7	1,25
3	Имеется опыт эксплуатации аналога	8	0,7	1,3
4	То же в лабораторных условиях	7	0,6	1,4
5	Имеется технологическое задание	6	0,5	1,4
6	Проведены теоретические расчеты; имеются концепция	5	0,4	1,6
7	Проведена экспертная оценка	4	0,3	1,7
8	имеется зарубежная информация о создании аналога	3	0,2	1,8
9	Имеется систематизированное мнение экспертов	2	0,1	1,9
10	Публикация в отдельных источниках	1	0,07	2,0
11	Информация отсутствует	0	–	–

### 2.3. Определение поправок к коэффициенту дисконтирования

Согласно упрощенной методики Министерства экономики РФ, учет риска сводится к суммированию расчетного коэффициента

дисконтирования  $d_p$  и коэффициента поправки на риск  $f$ , примеры которого приведены в табл. 2.

Поправка учитывается формулой:

$$d = d_p + f.$$

Таблица 2

Поправки на риск к коэффициенту дисконтирования показателей инвестиционного проекта

Уровень риска	Цель проекта	$f$
Очень низкий	Вложение в государственные облигации	$\sim 0$
Низкий	Вложение в надежную технику	3 – 5
Средний	Увеличение объемов продаж	8 – 10
Высокий	Производство и продвижение нового товара или услуги	13 – 15
Очень высокий	Вложение в исследования и инновации	18 – 20

#### 2.4. Оценка ущерба или упущенной выгоды

Оценка ущерба от нескольких возможных рисков может производиться следующим образом:

$$Y_0 = \sum_{i=1}^n (f_i \pm \Delta f_i) \cdot k_{Ti} \cdot \delta_i \cdot \xi_i,$$

где  $f_i$  – вероятность конкретного типа риска;

$\Delta f_i$  – корректирование вероятности риска для условий конкретного проекта;

$k_{Ti}$  – коэффициент, учитывающий длительность действия риска;

$\delta_i$  – доля части проекта, подверженная риску;

$\xi_i$  – охватывает отрицательные воздействия риска.

Рассмотрим оценку возможного ущерба и упущенной выгоды на примере:

Для проекта стоимостью  $Z_{\Sigma} = 7500000$  надо приобрести оборудование на сумму  $Z_{об} = 200000$ .

В связи с условиями проекта предполагается хранить оборудование на складе в течение трех месяцев. При этом оборудование подвергается следующим рискам  $f_i$ , увеличению риска в связи с условиями хранения  $\Delta f_i$  и ущербу  $\xi_i$ :

Таблица 3

Риски связанные с условиями хранения

Риск	$f_i, \%$	$\Delta f_i, \%$	$\xi_i, \%$
Пожар	3	2	60
Взрыв	10	3	60
Кража	8	0	25

1) Определяем относительный годовой ущерб от рисков:

$$Y_0 = ((3+2) \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 0,6) + ((10+3) \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 0,6) + ((8+0) \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 0,25) = 3,2\%.$$

2) в денежном выражении возможный ущерб составит:

$$Y_{\partial} = Y_0 \cdot Z_{об},$$

или 
$$Y_{\partial} = 0,032 \cdot 200000 = 6400 \text{ р.е.}$$

3) вероятность риска по проекту в целом:

$$f_0 = Y_0 \cdot \frac{Z_{об}}{Z_{\Sigma}}.$$

или

$$f_0 = 3,2 \cdot \frac{200}{750} = 0,85\%.$$

4) проверка возможного ущерба по формуле:

$$Y'_o = Z_{\Sigma} \cdot f_0.$$

или 
$$Y'_o = 750000 \cdot 0,0085 = 6375 \text{ р.е.}$$

$Y_o \approx Y'_o$  что свидетельствует о точности расчетов.

5) опираясь на значения  $Y_o$  и  $f_0$  решается вопрос о целесообразности страхования рисков данного объекта. Если предложения страховых компаний по страхованию рисков превышают расчетные значения  $Y_o$  и  $f_0$  для данного проекта, то страхование нецелесообразно и наоборот.

При значительных рисках в проекте рекомендуется заблаговременно предусмотреть следующие организационно - экономические механизмы, позволяющие или снизить риск, или уменьшить связанные с ними неблагоприятные последствия.

а) Разработка сценариев (правил) действия и поведения участников проекта при определенных «нештатных ситуациях».

б) Образование специального центра (штаба), координирующего действия участников проекта при значительном изменении условий его реализации.

в) Разработка мер по защите интересов участников проекта при неблагоприятном изменении условий или недостижении поставленных целей, которые сводятся, как правило, к следующему.

– ориентация при расчетах на среднюю, а не сверхвысокую норму прибыли;

– диверсификация вложений собственного капитала в ценные бумаги (не менее 8 различных видов ценных бумаг или 12 контрагентов).

– снижение степени самого риска (создание дополнительных запасов и резервов, совершенствование технологии, повышение качества услуг и продукции и др.);

– дублирование поставщиков и резервировании рынков сбыта;

- хранение запасов продукции и объектов, подлежащих воздействию в разных местах;
- разделение партий при транспортировке ценных грузов;
- перераспределение риска между участниками проекта (страхование, индексация цен, предоставление гарантий, система взаимных санкций, залог имущества и др.).

### 3. Последовательность выполнения работы

- Изучить общие положения и приведенные примеры;
- законспектировать общие положения;
- провести расчёт возможного ущерба ( $Y_0$  и  $f_0$ ) используя данные из табл. 4 согласно своему варианту, который определяется по последней цифре зачетной книжки.

Таблица 4

Исходные данные для самостоятельного расчёта

№ п/п	Стоимость проекта, р.е	Стоимость части проекта, подвергну- той риску, р.е	Риски								
			Пожар			Кража			Взрыв		
			$f_i$ , %	$\Delta f_i$ , %	$\xi_i$ , %	$f_i$ , %	$\Delta f_i$ , %	$\xi_i$ , %	$f_i$ , %	$\Delta f_i$ , %	$\xi_i$ , %
1	1000000	300000	5	3	23	6	2	40	5	3	62
2	780000	80000	6	2	21	2	3	60	9	5	51
3	1200000	150000	4	1	56	8	1	95	6	3	84
4	1100000	200000	8	6	84	4	6	85	3	2	59
5	650000	300000	9	8	59	7	8	15	4	6	65
6	400000	250000	4	5	48	2	5	84	8	9	56
7	500000	350000	6	4	78	3	4	73	2	8	54
8	260000	250000	9	6	20	9	9	21	1	1	56
9	270000	36500	7	9	12	4	7	23	9	2	21
10	1000000	359000	10	7	59	1	5	59	6	3	78

- Сделать выводы о целесообразности страхования проекта исходя из того, что страховая компания страхует на условиях 6% - ого страхового взноса.
- Проанализировать полученные результаты. Сделать выводы по результатам анализа.

Вывод по проделанной работе.



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

### Методы интеграции мнений специалистов

#### 1. Цели практического занятия

- углубление теоретических знаний;
- освоение методики проведения априорного ранжирования.

#### 2. Общие положения

В условиях недостаточной информации при анализе рыночных и производственных ситуаций и принятии решений широко используют методы интеграции мнений квалифицированных специалистов – экспертные оценки, а также опросы и интервью.

Методы получения экспертных оценок подразделяются на две основные группы в зависимости от организации работы экспертов: коллективная и индивидуальная (рис. 2).

К первой группе относятся совещания, т.е. метод открытого обсуждения и принятия решений (метод «комиссий»); метод «мозговой атаки», в процессе которой внимание участников концентрируется на выдвижение идей возможных путей решения одной конкретной задачи; метод «суда» воспроизводит правила ведения судебного процесса, причем рассматриваемое решение выступает в качестве «подсудимого», а группы экспертов исполняют роли «прокурора» и «защиты».

Особенности коллективной работы:

- а) при обсуждении вопроса присутствует вся группа;
- б) группу комплектует руководитель;
- в) последовательность выступлений и предоставление слова регламентируется руководителем;
- г) итоги подводит и принимает решение руководитель.

Преимущества этих методов: оперативность и внешняя демократичность.

Недостатки: давление авторитета руководителя, отсутствие строгой процедуры учета мнения экспертов, подведения итогов и принятия решения. Последний недостаток частично может быть компенсирован, если решение принимается тайным голосованием.

При индивидуальной работе экспертов для получения мнения каждого эксперта используют интервью в виде свободной

беседы или по типу «вопрос-ответ», а также анкетирование, в процессе которого каждый эксперт дает количественные оценки сравниваемым факторам или альтернативам, т.е. ранжирует их. Затем индивидуальные оценки участников экспертных групп суммируются по определенным правилам.

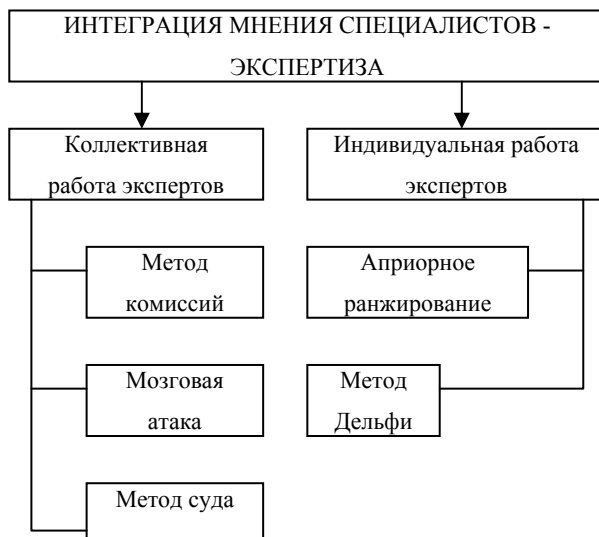


Рис. 2. Виды наиболее распространенных методов интеграции мнения специалистов

При втором подходе все этапы экспертизы (подбор экспертов, технология получения и обработки их мнений и др.) более или менее регламентированы, эксперты, как правило, подбираются из числа внешних специалистов, а организует проведение экспертизы не руководитель, а специалист. При этом результаты экспертизы, так же и при первом методе, носят для руководителя не обязательный, а рекомендательный характер.

Наиболее простым является метод априорного ранжирования, основанный на экспертной оценке факторов группой специалистов, компетентных в исследуемой области.

Априори означает, что эксперт оценивает новое явление, факт на основе своего прошлого опыта.

Метод априорного ранжирования сводится к следующему:

1. Организацией или специалистом, проводящим экспертизу, на основании анализа литературных данных, обобщения имеющегося опыта, опроса специалистов, дерева систем и т.д. определяется предварительный (с определенным резервом, обеспечивающим выбор) перечень факторов, требующих ранжирования.

2. Составляется анкета, в которой приводится, желательно в табличной форме, перечень факторов, необходимых пояснения и инструкции, примеры заполнения анкет.

3. Осуществляется комплектация и проверка компетентности группы экспертов, которые должны быть специалистами в рассматриваемых вопросах, но не быть лично заинтересованными в результатах. Проверка компетентности экспертов может проводиться с помощью тестов, методом самооценки или оценкой эталонных факторов.

4. После формирования группы проводится устный или письменный инструктаж экспертов.

5. Экспертами осуществляется индивидуальная оценка предложенных факторов с помощью рангов, в процессе которой факторы располагаются в порядке убывания степени их влияния на результирующий признак или объект исследования, являющийся целевой функцией. Ранг обозначается следующим образом  $a_{km}$ , где  $m$  – условный номер эксперта;  $k$  – номер фактора. При этом фактор, имеющий наибольшее влияние, оценивается первым рангом (цифрой 1). Фактору, имеющему меньшее значение, приписывается второй ранг (цифра 2) и т.д.

6. Полученные оценки с другими экспертами не обсуждаются и передаются организаторам экспертизы.

7. Организаторами экспертизы проводится обработка результатов экспертного опроса.

8. По результатам экспертизы организацией или специалистом, проводившим экспертный опрос, для руководства системы разрабатываются предложения по решению конкретных проблем или результаты передаются без комментариев.

Рассмотрим пример оценки влияния ряда подфакторов, выбранных из дерева систем технической эксплуатации автомобилей (ДСТЭА) и характеризующих влияние производственно-технической базы автотранспортной компании на работоспособность автомобильного парка. Конкретным показателем работоспособности был выбран коэффициент технической готовности.

Организаторами экспертизы на основании предварительного анализа условий работы данной фирмы для экспертной оценки были выбраны следующие четыре подфактора ( $K=4$ ) третьего уровня ДСТЭА:

$C_{031}^2$  – обеспеченность производственной базой (площади, цеха, посты и т.д.);

$C_{032}^2$  - размер предприятия, характеризуемый инвентарным числом автомобилей;

$C_{033}^2$  - структура и разномарочность парка автомобилей;

$C_{034}^2$  - уровень механизации производственных процессов ТО и ремонта.

К независимой экспертизе привлечено 8 экспертов ( $m=8$ ).

Каждый эксперт независимо от других присваивает свои ранги акт каждому фактору и передает результаты организаторам экспертизы. Например, эксперт № 1 ( $m=1$ ) первый фактор ( $k=1$ ) оценил рангом  $a_{11} = 2$ ; второй фактор ( $k=2$ )  $a_{21} = 3$ ; третий ( $k=3$ )  $a_{31} = 4$ ; четвертый ( $k=4$ )  $a_{41} = 1$ .

1) Индивидуальные оценки всех экспертов сводятся в таблицу априорного ранжирования (табл. 5). Так, ранги восьми экспертов по первому фактору: 2; 1; 2; 1; 1; 1; 2; 1.

2) Определяется сумма рангов всех экспертов по каждому фактору

$$\Sigma k = \sum_{m=1}^m a_{km}$$

где  $m$  – число экспертов;

$k$  – число факторов.

Например, по фактору "обеспеченность ПТБ" сумма рангов всех экспертов равна (табл. 5)

$$\Delta_1 = \sum_{m=1}^8 a_{1m} = 2 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 2 + 1 = 11,$$

где  $a_{1m}$  – ранг, присвоенный 1-му фактору  $m$ -тым экспертом;

3) Проверяется правильность заполнения таблицы. Очевидно, во-первых, что максимальный ранг по конкретному фактору ( $\exists < t$ ) не может быть больше числа сравниваемых факторов ( $k$ ). Во-вторых, максимальное значение суммы рангов по любому фактору не может быть больше произведения максимально возможного ранга на число экспертов, т.е.

$$(\Sigma_k)_{\max} \leq (a_{km})_{\max} \cdot m.$$

В примере  $(\Sigma_k)_{\max} = \Delta_3 = 27, < 32 = 4 \cdot 8$

В-третьих, минимально возможная сумма рангов по любому фактору не может быть меньше минимального ранга (1), умноженного на число экспертов, т.е.  $(\Delta_k)_{\min} \geq (a_{km})_{\min} \cdot m.$

В примере  $(\Delta_k)_{\min} = \Delta_1 = 11 > 8 = 1,8.$

В рассматриваемом примере все три условия удовлетворены:

все  $a_{km} \leq 4 = (a_{km})_{\max};$

все  $\Delta_k < 32 = (\Delta_k)_{\max};$

все  $\Delta_k > 8 = (\Delta_k)_{\min}.$

4) Вычисляется сумма рангов

$$\sum_{k=1}^k a_{km} = 11 + 26 + 27 + 16 = 80$$

5) средняя сумма рангов

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{k=1}^k a_{km}}{k} = \frac{80}{4} = 20.$$

Таблица 5

Результаты априорного ранжирования факторов

**производственной базы АТП**

Факторы и их №№, k	Условные номера экспертов, $m$ и ранги оценки $a_{km}$								Сумма рангов $\Delta_k$	Отклонения суммы рангов $\Delta_k'$	$(\Delta_k')^2$	Занимаемое место $M_1$	Вес фактора $q_k$
	1	2	3	4	5	6	7	8					
$C_{031}^2$ обеспеченность ПТБ ( $k=1$ )	2	1	2	1	1	1	2	1	11	-9	81	1	0,4
$C_{032}^2$ Мощность АТП ( $k=2$ )	3	4	4	2	3	2	4	4	26	6	36	3	0,2
$C_{033}^2$ Разномарочность парка ( $k=3$ )	4	3	3	4	4	4	3	2	27	7	49	4	0,1
$C_{034}^2$ Уровень механизации ТООР ( $k=4$ )	1	2	1	3	2	3	1	3	16	-4	16	2	0,3
Итого	$\sum_1^k \Delta_k = 80$										$S = 182$		1,0

б) Проверяется правильность определения суммы рангов по формуле

$$\sum_1^k \Delta k = m \cdot k \cdot \bar{a}.$$

или  $9 \cdot 4 \cdot 2,5 = 90$ .

$$\bar{a} = \frac{\sum_{k=1}^k k}{k},$$

где  $\bar{a}$  - средний ранг оценки факторов каждым экспертом.

В примере  $\bar{a} = \frac{1+2+3+4}{4} = 2,5$ ; а  $\sum_1^k \Delta k = 8 \cdot 4 \cdot 2,5 = 80$ .

Полученное значение соответствует табличным данным.

7) Определяется отклонение от суммы рангов:

$$\Delta'k = \Delta k - \bar{\Delta} \text{ или } 19 - 22,5 = 3,5 \text{ и т.д.}$$

8) Рассчитывается коэффициент Кенделла:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (k^3 - k)}.$$

$$W = \frac{12 \cdot 49}{81 \cdot (64 - 4)} = 0,121.$$

$$S = \sum_{k=1}^k (\Delta'k)^2 = 49.$$

Коэффициент конкордации может изменяться от 0 до 1. Если он существенно отличается от нуля ( $W > 0,5$ ), то можно считать, что между мнениями экспертов имеется определенное согласие.

В рассматриваемом примере  $W = \frac{12 \cdot 182}{64(64 - 4)} = 0,57$ .

Если  $W \geq 0,5$ , то можно считать, что между мнениями экспертов имеется определенное согласие. Если  $W < 0,5$ , то мнение рассогласовано и его нельзя считать групповым;

з) по результатам анализа принимается решение о принятии результатов или проведении повторной экспертизы, а именно:

а) передача ее проведения другой группе специалистов;

б) изменение инструкции;

в) корректировка состава факторов;

г) привлечение других экспертов.

При любом исходе проводить повторную экспертизу прежним составом экспертов не рекомендуется.

и) при  $W \geq 0,5$  проверяется гипотеза о неслучайности согласия экспертов по критерию Пирсона:

$$X_p^2 = W \cdot m \cdot (k - 1),$$

где  $(k-1)$  – число степеней свободы;

или  $0,121 \cdot 9(4 - 3) = 3,267$ .

Расчетное значение коэффициента сравнивается с табличным значением, определенным при числе степеней свободы  $k-1$ .

Если расчетное значение критерия Пирсона больше табличного, а  $W > 0,5$ , то это свидетельствует о наличии существенного сходства мнений экспертов, значимости коэффициента конкордации и неслучайности совпадения мнения экспертов, т.е.  $X_p^2 > X_T^2$ .

В примере  $X_p^2 = 0,57 \cdot 8 \cdot 3 = 13,68$ , а  $X_T^2 = 11,3$  (при уровне значимости 0,01), и результаты экспертизы могут быть признаны удовлетворительными и адекватными.

9) По сумме рангов  $\Delta_k$  производится ранжирование факторов (подсистем). Минимальной сумме рангов ( $\Delta_k$ )  $\min$  соответствует



наиболее важный фактор, получающий первое место  $M = 1$ , далее факторы располагаются по мере возрастания суммы рангов.

Таким образом, по результатам априорного ранжирования рассматриваемые для данного предприятия факторы располагаются по их влиянию на уровень работоспособности следующим образом:

1 место - обеспеченность производственной базой ( $\Delta_{k1}=11$ );

2 место - уровень механизации ( $\Delta_{k4}=16$ );

3 место - размер предприятия ( $\Delta_{k2}=26$ );

4 место - разномарочность парка ( $\Delta_{k3}=27$ ).

10) Для наглядного представления о весомости факторов может строиться априорная диаграмма рангов (рис. 3) и определяются удельные веса факторов по их влиянию на целевой показатель.

При этом удельный вес фактора определяется по следующей формуле:

$$q_k = \frac{2 \cdot (k - M + 1)}{k \cdot (k + 1)},$$

где  $M$  - место фактора по результатам ранжирования.

В примере фактор, занявший первое место ( $M = 1$ ), имеет вес при  $k = 4$ :

$$q_1 = \frac{2 \cdot (4 - 1 + 1)}{(4 \cdot 5)} = 0,4;$$

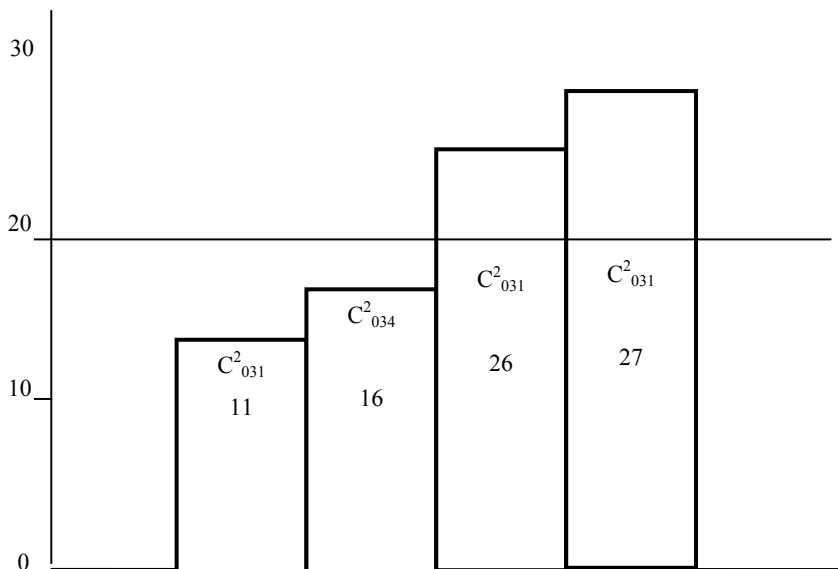
второе  $q_2 = 0,3$ ; третье  $q_3 = 0,2$ ;  $q_4 = 0,1$ .

Естественно  $\sum_{k=1}^k q_k = 1,0$ .

11) Априорная диаграмма рангов позволяет предварительно отобрать наиболее действенные подсистемы. К ним в примере относятся те, у которых сумма рангов меньше среднего т.е.

$$\Delta_k < \bar{\Delta} = 20.$$

Преимущества априорного ранжирования: сравнительная простота организации процедуры и оперативность получения результатов.



Недостатки: большая зависимость результатов от качества организации экспертизы и подбора экспертов, т.е. определенная субъективность. Кроме того, при оценке тех или иных факторов (мероприятий) для данной системы (предприятия, фирмы) эксперты пользуются своим прежним опытом или взглядами (именно поэтому экспертиза называется априорной). Поэтому правильная постановка вопросов и выбор факторов для данной методики имеют особое значение и существенно влияют на результаты экспертизы.

Типичной ошибкой при использовании экспертных методов, диктуемых их сравнительной простотой, является стремление включить в оценку максимальное число показателей или объектов разных уровней.

Например, при оценке качества эксплуатации строительных машин" были выбраны 27 показателей, что не позволило экспертам выделить группу доминирующих. Действительно, средний коэффициент значимости показателей составил 0,037 (3,7%), разрыв

между показателем с максимальным (риск возникновения аварии в течение года) и минимальным (эстетичность) коэффициентом значимости 0,02 (2,1%), а между смежными показателями всего 0,08%. Иными словами, оценки коэффициентов значимости большинства показателей (более 60%) лежали в пределах точности данного метода.

При априорном ранжировании для получения более объективных данных сравнивают мнения экспертов нескольких групп и разных школ, обращаются к независимым аудиторам или аудиторским фирмам.

### 3. Последовательность выполнения практической работы

- 1) Изучить классификацию методов интеграции мнений специалистов.
- 2) Изучить методику проведения априорного ранжирования.
- 3) Законспектировать общие положения.
- 4) С помощью метода априорного ранжирования определить вклад факторов в достижение цели на схеме, приведенной на рис. 4.

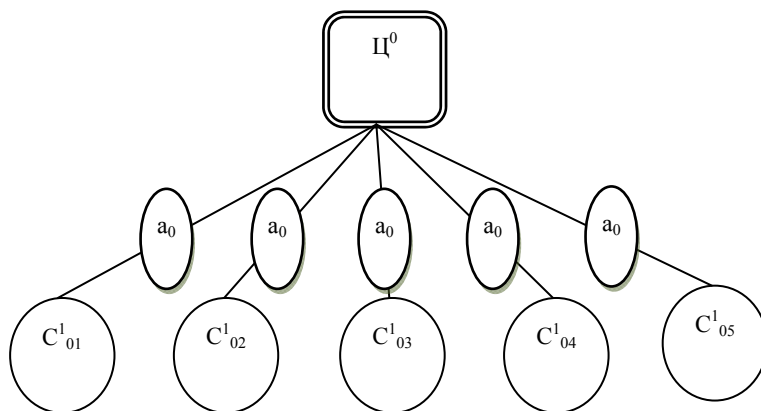


Рис. 4. Схема дерева целей и систем: Ц<sup>0</sup> - снижение расхода топлива автомобиля; С<sup>1</sup><sub>01</sub> – улучшение обтекаемости автомобиля; С<sup>1</sup><sub>02</sub> – применение экономичных режимов езды; С<sup>1</sup><sub>03</sub> – снижение коэффициента неупругого сопротивления шин (повышение давления воздуха в шинах); С<sup>1</sup><sub>04</sub> – улучшение технического состояния автомобиля; С<sup>1</sup><sub>05</sub> – поддержание оптимальной температуры двигателя

Для этого:

- а) Формируется список факторов и анкета.
  - б) Формируется группа экспертов из присутствующих студентов, каждому студенту присваивается условный номер эксперта и выдается анкета.
  - в) Каждый эксперт на основе своего опыта и знаний заполняет анкету.
  - г) Заполняется таблица результатов априорного ранжирования.
  - д) Рассчитываются показатели.
  - е) С помощью коэффициента конкордации Кэнделла оценивается степень согласованности мнений экспертов. В случае, если коэффициент Кэнделла недостаточен, дальнейшие расчеты проводятся, однако в выводе указывается недостаточность коэффициента, возможные причины этого, а также возможные пути корректирования экспертизы.
  - ж) Проверяется гипотеза о неслучайности согласия экспертов (табличное значение критерия Пирсона для числа степеней свободы  $k-1=4$ ,  $\chi^2=13,277$ ).
  - з) По сумме рангов производится ранжирование факторов.
  - и) Рассчитывается вклад факторов в достижение поставленной цели.
  - к) Строится априорная диаграмма рангов.
  - л) На дереве целей и систем наносятся вклады факторов.
- Выводы: указываются результаты ранжирования.

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

#### Использование игровых методов при принятии решений в условиях риска

## **1. Цели практического занятия**

- углубление теоретических знаний о игровых методах принятия решений в условиях риска;
- освоение игровых методов принятия решения в условиях риска.

## **2. Общие положения**

Одним из методов принятия решений в условиях дефицита информации является анализ рыночной, производственной или другой ситуации с использованием теории игр и статистических решений. Смысл и содержание игры состоит в следующем:

– Для того, чтобы произвести математический анализ ситуации, строят ее упрощенную, очищенную от второстепенных деталей модель, называемую игрой.

– В игре функционируют стороны и рассматриваются (воспроизводятся) их возможные стратегии, т.е. совокупность правил, предписывающих определенные действия в зависимости от ситуации, сложившейся в ходе игры.

– Если в игре выступают две стороны, то такая игра называется парной. Если в игре участвуют несколько участников, то игра называется множественной.

– Различают игры конфликтные (антагонистические) и "игры с природой".

В конфликтных играх (конкуренция, спортивные соревнования, военные действия) стороны осмысленно противодействуют друг другу. Выигрыш одной стороны означает проигрыш другой.

Игры с природой применяются при изучении производственных ситуаций, т.е. организационных, технических и технологических задач. Их называют также играми с производством.

В играх с природой (производством) обычно рассматриваются две стороны:

**А** - организаторы производства (активная сторона), т.е. руководители ИТС АТП, станций технического обслуживания, других предприятий всех форм собственности, предоставляющих услуги потребителям;

II - совокупность случайно возникающих производственных или рыночных ситуаций ("природа").

Смысл игры состоит в следующем:

а) Активная сторона должна выбрать такую стратегию, т.е. принять решение, чтобы получить максимальный эффект.

б) При этом "природа" т.е. складывающиеся производственные ситуации, активно и осмысленно не противодействует мероприятиям организаторов производства, но точное состояние "природы" (II) им неизвестно.

в) Принятие решений игровыми методами основывается на определенных правилах, которые регламентируют возможные варианты (стратегии) действия сторон, участвующих в игре: наличие и объем информации каждой стороны о поведении другой; результат игры, т.е. изменение целевой функции при сочетаниях определенных стратегий сторон и др.

г) В процессе игры сторона А или стороны оценивают ситуацию, принимают решения, делают ходы, т.е. предпринимают определенные действия по изменению ситуации в свою пользу. Ходы бывают личными - сознательный выбор стороны из возможных вариантов действий. Случайными - это выбор из ряда возможных, определяемый механизмом вероятностного отбора вариантов, а не самим участником игры. Смешанные ходы представляют комбинацию личных и случайных. Если число возможных стратегий ограничено, то игры называются конечными, а при неограниченном числе стратегий - бесконечными.

д) Результаты этих ходов оцениваются количественно по изменению целевой функции:

В зависимости от содержания информации в теории игр рассматриваются методы принятия решений в условиях риска и неопределенности. В данной практической работе рассматривается принятие решений только в условиях риска.

Рассмотрим применение игровых методов на примере определения оптимального запаса агрегатов на складе АТП или СТО.

1) Определение сторон в игре. Очевидно, сторонами в игре являются:

– производство (П), которое в заданных условиях и в случайном порядке «выдает» то или иное число требований на замену(ремонт) агрегатов определенного наименования;

– организаторы производства (А), в данном случае организаторы складского хозяйства, комплектуют тот или иной запас агрегатов. Следовательно, имеем вариант парной игры с природой.

2) Идентификация групп факторов целевой функции:

$a_n$  – заданные условия - это размер парка, тип, состояние и условия эксплуатации автомобилей, состояние и обустройство базы (цех, участок) для ТО и ремонта, квалификация персонала. Эта группа факторов, во-первых, определяет поток требований на обслуживание или ремонт, во-вторых, пропускную способность средств обслуживания и стоимость самого обслуживания требований;

$z_k$  – применительно к организации складского хозяйства это возникновение того или иного числа требований на замену агрегатов, вероятность которого известна заранее;

$x_m$  – решение организаторов производства (А), т.е. в рассматриваемом примере - рациональный запас агрегатов, который должен поддерживаться на складе.

3) Определение вероятности появления потребности в ремонте (замене) определенного числа агрегатов  $q_i$ .

Вероятность может быть определена:

а) расчетно, на основе данных по надежности агрегата в рассматриваемых условиях эксплуатации по формуле:

$$P_{ka} = \frac{a^k}{k!} e^{-a}.$$

где  $P_{ka}$  - вероятность поступления конкретного количества заявок;

$a$  – среднее количество заявок;

$k$  – количество заявок.

б) на основании анализа отчетных данных о требованиях на ремонт данного агрегата. При этом за определенное число смен, например,  $C = 100$ , собираются сведения о числе требований на ремонт:

- $C_1$  – число смен, когда требований не было;
- $C_2$  – число смен с одним требованием;
- $C_3$  – число смен с двумя требованиями и т.д.

$$\omega_1 = \frac{C_1}{C} \approx P_1,$$

где  $\omega$  – дает так называемую частоту или эмпирическую вероятность, которую можно использовать в игре.

В рассматриваемом примере на основании анализа отчетных данных установлено, что ежедневно при ремонте требуется не более четырех агрегатов, причем вероятность того, что агрегаты не потребуются для ремонта в течение смены, равна  $q_1=0,1$ ; потребуется один агрегат  $q_2=0,4$ ; два  $q_3=0,3$ ; три -  $q_4=0,1$  и четыре  $q_5=0,1$ .

4) Формирование стратегии сторон (табл. 6).

Стратегии производства (П) или требования рынка услуг определяются числом требуемых в течение смены агрегатов  $n_i$ . Причем первая стратегия  $\Pi_1$  состоит в том, что фактически для ремонта не потребуется агрегатов ( $n_1=0$ ), вторая  $\Pi_2$  - один агрегат,  $\Pi_3$ - два агрегата,  $\Pi_4$  - три агрегата и  $\Pi_5$  - четыре агрегата ( $n_5=4$ ).

При организации на складе запаса организаторы производства (сторона А) могут применить следующие стратегии:  $A_1$  - не иметь запаса;  $A_2$  - иметь один агрегат в запасе;  $A_3$  - два;  $A_4$  - три и  $A_5$  - четыре агрегата. Так как потребность более четырех агрегатов за смену не была зафиксирована, то дальнейшее увеличение запасов априорно нецелесообразно. Причем определенные в табл. 6 вероятности  $q_j$  следует рассматривать как вероятность реализации стратегий стороны П. Полученные таким образом результаты по  $\Pi_j$ ,  $A_j$  и  $q_j$  сводят в таблицу стратегий сторон.

*Таблица 6*

Стратегии сторон игры

Производство (П)			Организаторы складского хозяйства (А)	
Обозначение стратегий,	Необходимо агрегатов	Вероятность данной	Обозначение стратегий,	Имеется исправных



$\Pi_j$	для ремонта, $n_j$	потребности, $q_j$	$A_i$	агрегатов на складе, $n_i$
$\Pi_1$	0	0,1	$A_1$	0
$\Pi_2$	1	0,4	$A_2$	1
$\Pi_3$	2	0,3	$A_3$	2
$\Pi_4$	3	0,1	$A_4$	3
$\Pi_5$	4	0,1	$A_5$	4

5) Определение последствий случайного сочетания стратегий сторон.

В реальных условиях сочетание стратегий  $A_i$  и  $\Pi_j$  случайно, но каждому сочетанию  $A_i$  и  $\Pi_j$  стратегий соответствуют определенные последствия  $b_{ij}$ . Например, если потребность в агрегатах для ремонта превышает их наличность на складе, то предприятие несет ущерб от дополнительного простоя автомобиля в ремонте (сокращение коэффициента технической готовности  $\alpha_T$ ) или отказа клиенту в предоставлении соответствующей услуги. Если требований на замену меньше, чем имеется агрегатов на складе, то возникают дополнительные затраты, связанные с хранением "излишних" агрегатов. Количественно последствия сочетания стратегий  $\Pi_j$  и  $A_j$  оценивается с помощью выигрыша  $b_{ij}$  (табл. 7), который относится на предприятие (А) и может исчисляться в рублях или условных единицах. Выигрыш  $b_{ij} > 0$  называется прибылью, а  $b_{ij} < 0$  убытком. Природа убытка и прибыли в каждом конкретном случае может быть различной, а сами величины ущерба и прибыли должны быть строго обоснованы, так как от них зависит выбор оптимального решения. В примере удовлетворение потребности в агрегатах связано с сокращением простоев автомобилей в ремонте или сохранением клиентуры, что приносит прибыль АТП или СТО. Излишний запас вызывает дополнительные затраты на хранение агрегатов (табл. 7).

Таблица 7

Условия определения выигрыша

Ситуации	Разовый выигрыш в условных единицах
----------	-------------------------------------

	Убыток	Прибыль
Хранение на складе одного, фактически не востребовавшего агрегата	$b_1 = -1$	-
Удовлетворение потребности в одном агрегате	-	$b_2 = +2$
Отсутствие необходимого для выполнения требования агрегата на складе	$b_3 = -3$	-

б) Определение выигрышей при всех возможных в рассматриваемом примере сочетаниях стратегий  $A_i, P_j$ , в данном случае 25 ( $A_i \times P_j = 5 \times 5$ ). Например, сочетание стратегий  $A_2$  и  $P_4$  означает, что потребность в агрегатах для ремонта в течение данной смены составляет ( $P_4$ )  $n_5 = 3$  агрегата, а на складе имеется ( $A_2$ ) только один агрегат. Поэтому выигрыш (табл. 7) составит  $b_{24} = 1 \times 2$  (при потребности 3 на складе имеется 1 агрегат) –  $2 \times 3$  (две заявки не удовлетворены, т.е. - 4); сочетание стратегий  $A_4$  и  $P_2$  (необходимо для замены один агрегат, на складе имеется 3)  $b_{42} = 1 \times 2$  (одно требование удовлетворено) -  $2 \times 2$  (два агрегата не востребованы, т.е. 0) и т.д.

Выигрыши при сочетании всех возможных стратегий сторон сводятся в платежной матрице (табл. 8).

Фактически платежная матрица - это список всех возможных альтернатив, из которых необходимо выбрать рациональную стратегию  $A_i$  организаторов производства.

Таблица 8

Платежная матрица

Необходимое число агрегатов и выигрыш при сочетании стратегий $A_i$ и $P_j$							Минимальный выигрыш по стратегиям (минимумы строк), $\alpha_i$
Показатели оценки сочетания стратегий	$P_j \rightarrow$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	

$A_i$ и $\Pi_j$								
	$n_j \rightarrow$		0	1	2	3	4	
	$A_i$ ↓	$\Pi_j$ ↓						
Имеющееся число агрегатов и выигрыш по стратегиям	$A_1$	0	0	-3	-6	-9	-12	-12
	$A_2$	1	-1	2	-1	-4	-7	-7
	$A_3$	2	-2	1	4	1	-2	-2
	$A_4$	3	-3	0	3	6	+3	-3
	$A_5$	4	-4	-1	2	5	8	-4
Максимальный выигрыш (максимумы столбцов), $(\beta_i)_{\max}$			0	2	4	6	8	

7) Выбор рациональной стратегии организаторов производства. Наиболее простое решение возникает тогда, когда находится стратегия  $A_i$ , каждый выигрыш которой при любом состоянии  $\Pi_j$  не меньше, чем выигрыш при любых других стратегиях. В рассматриваемом примере таких стратегий нет. Например, стратегия  $A_3$  лучше всех других только при состоянии  $\Pi_3$ , но хуже стратегии  $A_2$  при состоянии  $\Pi_2$  и  $A_4$  при состоянии  $\Pi_4$  и т.д.

В общем случае при известных вероятностях каждого состояния  $\Pi_j$  выбирается стратегия  $A_i$ , при которой математическое ожидание выигрыша организаторов производства будет максимальным. Для этого вычисляют средневзвешенный выигрыш по каждой строке платежной матрицы для  $i$ -й стратегии:

$$\bar{b}_i = q_1 b_{i1} + q_2 b_{i2} + \dots + q_n b_{in} = \sum_{j=1}^n q_j b_{ij}.$$

Например, для стратегии  $A_1$  из табл. 6, 7 имеем:

$$\bar{b}_1 = 0,1 \cdot 0 - 0,4 \cdot 3 - 0,3 \cdot 6 - 0,1 \cdot 9 - 0,1 \cdot 12 = -5,1.$$

Аналогично для  $A_2$  имеем  $\bar{b}_2 = -0,7$  и т.д.

Полученные таким образом результаты сводим в матрицу выигрышей (последний столбец табл. 8).

Из матрицы выигрышей следует, что оптимальной стратегией, обеспечивающей максимальный средний выигрыш, является стратегия  $A_4$ . т.е. необходимо постоянно иметь на складе 3 агрегата. Иными словами, если организаторы производства будут каждую смену придерживаться четвертой стратегии, то за ряд смен в конечном итоге они получают следующий выигрыш:  $(\bar{b}_4)_{\max} = 1,5$  условные единицы. Но это не означает, что в отдельные смены при различном сочетании  $A_4$  (3 агрегата на складе) и реальной потребности в агрегатах не может быть получен убыток, например, сочетание  $A_4 \Pi_1$  (табл. 9).

Таблица 9

Матрица выигрышей при исходном (I) варианте

$A_i(n_i)$	Произведение $\bar{q}_j \times b_{ij}$					Средний выигрыш, $\bar{b}_i$
	$\Pi_1$ ( $n_1=0$ )	$\Pi_2$ ( $n_2=1$ )	$\Pi_3$ ( $n_3=2$ )	$\Pi_4$ ( $n_4=3$ )	$\Pi_5$ ( $n_5=4$ )	
$A_1(n_1=0)$	0	-1,2	-1,8	-0,9	-1,2	-5,1
$A_2(n_2=1)$	-0,1	0,8	-0,3	-0,4	-0,7	-0,7
$A_3(n_3=2)$	-0,2	0,4	1,2	0,1	-0,2	1,3
$A_4(n_4=3)$	-0,3	0	0,9	0,6	0,3	1,5
$A_5(n_5=4)$	-0,4	-0,4	0,6	0,5	0,8	1,1
Вероятности состояний, $q_j$	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	-

$n_j$  - необходимо иметь на складе исправных агрегатов;

$n_i$  - фактически имеется на складе исправных агрегатов.

8) Определение экономического эффекта от использования оптимальной стратегии.

Особенность выполненного расчета состоит в том, что учитывалась не только вероятность определенной потребности в агрегатах, но и последствия их наличия или отсутствия на складе. Поэтому экономическая эффективность может быть получена сравнением выигрыша при оптимальной стратегии  $\bar{b}_0 = \bar{b}_{\max}$  с выигрышем  $\bar{b}_c$ , который может быть получен при поддержании на складе средневзвешенной потребности в агрегатах  $\bar{n}_c$ , когда последствия принимаемых решений не учитываются.

$$\bar{n}_c = \sum_{j=1}^j q_j n_j,$$

где  $n_j$  – потребность в агрегатах на складе;

$q_j$  – вероятность этой потребности.

В примере:

$$\bar{n}_c = 0,1 \cdot 0 + 0,4 \cdot 1 + 0,3 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 = 1,7.$$

Принимаем целое значение средневзвешенной потребности в примере  $\bar{n}_c = 2$ .

Наличие на складе двух агрегатов соответствует стратегии  $A_3$ , при которой обеспечивается средний выигрыш. Полученные таким образом результаты сводим в матрицу выигрышей (последний столбец табл. 9).

Таким образом экономический эффект при использовании оптимальной стратегии составляет:

$$\varepsilon(A^0) = 100 \frac{\bar{b}_0 - \bar{b}_c}{\bar{b}_c} = 100 \frac{1,5 - 1,3}{1,3} = 15,4\%$$

9) Анализ полученных решений. Данные табл. 10 позволяют сделать следующие практические выводы:

Во-первых, определена оптимальная стратегия ( $A_4$ ), придерживаясь которой организаторы производства получают гарантированный выигрыш в 1,5 условные единицы. Очевидно, наличие на складе 3 агрегатов является заданным целевым нормативом для организаторов складского хозяйства предприятия  $ЦН = П_4 = 3$  агрегата. Нецелесообразным является не только сокращение по сравнению с оптимальным, но и чрезмерное увеличение оборотного фонда. Необходимо еще раз отметить, что стратегия  $A_4$  является оптимальной при многократном ее применении, т.е. в среднем для повторяющихся ситуаций. Для разовых реализаций она может быть и неоптимальной. Например, при  $П_1$  (исходный вариант) она дает убыток, а для  $П_5$  прибыль будет меньше, чем при использовании стратегии  $A_5$ .

Во-вторых, выявлена зона рационального запаса агрегатов на складе, при котором предприятию гарантирован доход.

Такой зоной является наличие на складе  $n_j = 3 \pm 1$  агрегатов, что соответствует стратегиям  $A_3, A_4, A_5$ . Эту зону следует рассматривать в качестве интервальной оценки целевого норматива для организаторов складского хозяйства.

В-третьих, используя данный метод, можно оценить влияние ряда факторов на выбор стратегии и величину выигрыша. Как следует из табл. 10, изменение стоимости хранения агрегатов ( $b_1$ ), убытка или прибыли при наличии ( $b_2$ ) и отсутствии ( $b_3$ ) агрегата на складе в весьма значительных пределах (от 130 до 200%) мало влияет на рациональную стратегию, которая, таким образом, является устойчивой. Вместе с тем величина убытка или прибыли оказывает существенное влияние на конечный выигрыш организаторов производства, максимальное значение которого по вариантам различалось в пределах 7-и условных единиц.

Таблица 10

Матрица выигрышей при изменении различных стоимостных затрат

Количество агрегатов на складе	$b, A_i$	Выигрыш при вариантах				
		I	II	III	IV	V

$n_i$	$b_1$	-1	-1	-1	-2	-2
	$b_2$	+2	+4	+3	+4	+2
	$b_3$	-3	-3	-4	-3	-3
0	$A_i$	-5.1	-5.1	-6.8	-5.1	-5.1
1	$A_2$	-0.7	1.1	-0.2	1.0	-1.6
2	$A_3$	1.3	4.1	2.4	3.9	0.7
3	$A_4$	1.5	4.7	3.3	2.8	0.6
4	$A_5$	1.1	4.5	2.8	2.2	-1.2
5	$A_6$	0.1	3.5	1.8	0.2	-3.2
6	$A_7$	-0.9	2.5	0.3	-1.8	-3.4
Оптимальная стратегия	-	$A_4^0$	$A_4^0$	$A_4^0$	$A_3^0$	$A_3^0$
Выигрыш при оптимальной стратегии	-	1.5	4.7	3.8	3.9	0.7

Например, увеличение прибыли от своевременного обслуживания автомобилей в два раза (с  $b_2=2$  до 4) увеличивает максимальный выигрыш при оптимальной стратегии предприятия в 3,1 раза с 1,5 (1 исходный вариант) до 4,7 условных единиц (табл. 10). Если при этом возрастут в два раза и затраты на хранение агрегата, то максимальный выигрыш также увеличится по сравнению с исходным вариантом в 2,6 раза (с 1,5 до 3,9). Одновременно изменится и оптимальная стратегия. При удорожании стоимости хранения агрегатов на складе экономически выгодной будет стратегия  $A_3$ , т.е. необходимо иметь на складе не 3, а 2 агрегата. Следовательно в условиях самокупаемости особенно важным является правильное определение всех затрат, влияющих на выигрыш организаторов производства.

Таким образом, сбор и использование информации о предполагаемых последствиях принимаемых решений

позволяют выбрать из имеющихся альтернатив наилучшее решение, т.е. определить для соответствующей подсистемы обоснованный целевой норматив.

Естественно, что в примере рассмотрен простейший вариант, иллюстрирующий суть и возможности метода.

В практических приложениях было бы целесообразным учесть сезонные, месячные, а возможно, и дневные колебания спроса на ремонт, возможность сезонных колебаний стоимостей простоев автомобиля и цены избыточного запаса агрегатов, различное отношение клиентуры к цене простоя автомобилей в летнее и зимнее время и т.д. Все это представляется возможным оценить данным методом, изменяя соответственно заданные условия (табл. 6 – 10).

### **3. Последовательность выполнения практической работы**

- 1) Изучить общие положения.
- 2) Изучить методику анализа производственных ситуаций игровым методом.
- 3) Законспектировать общие положения.
- 4) С помощью игрового метода провести анализ производственной ситуации для определения рационального количества постов текущего ремонта автомобилей при следующих исходных данных:
  - а) на линии работает 6 автомобилей;
  - б) вероятность поломки автомобилей рассчитывается по формуле

$$P_{ka} = \frac{a^k}{k!} e^{-a},$$

где  $a^k$  - вероятность поступления конкретного количества заявок;

$a$  – среднее количество заявок за смену ( $a = 3$ );

$k$  – количество заявок (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6).

в) условия определения выигрыша принимаются по табл. 11 первый случай выбирается из таблицы по предпоследней



цифре зачетной книжки, а второй случай – по последней цифре зачетной книжки.

- 5) В ходе анализа производственной ситуации:
- определить стороны в игре;
  - идентифицировать группы факторов целевой функции;
  - определить вероятность появления заявок на обслуживание;
  - сформировать стратегии сторон;
  - определить последствия случайного сочетания стратегий сторон;
  - определить выигрыши при всех возможных сочетаниях стратегий;
  - выбрать рациональную стратегию организаторов производства;
  - определить экономический эффект от использования оптимальной стратегии;
  - произвести анализ полученных решений.
- Выводы по полученным результатам.

*Таблица 11*

Условия определения выигрыша

Ситуации	вариант	Разовый выигрыш в условных единицах	
		Убыток	Прибыль
Простой одного невостребованного поста обслуживания	1	$b_1 = -1$	-
	2	$b_1 = -2$	-

	3	$b_1 = -3$	-
	4	$b_1 = -4$	-
	5	$b_1 = -1$	-
	6	$b_1 = -2$	-
	7	$b_1 = -3$	-
	8	$b_1 = -4$	-
	9	$b_1 = -1$	-
	10	$b_1 = -2$	-
Удовлетворение потребности в обслуживании одного автомобиля	1	-	$b_2 = +4$
	2	-	$b_2 = +3$
	3	-	$b_2 = +2$
	4	-	$b_2 = +1$
	5	-	$b_2 = +4$
	6	-	$b_2 = +3$
	7	-	$b_2 = +2$
	8	-	$b_2 = +1$
	9	-	$b_2 = +4$
	10	-	$b_2 = +3$

*Продолжение табл. 11*

Простой одного автомобиля в результате нехватки постов обслуживания.	1	$b_3 = -2$	-
	2	$b_3 = -4$	-
	3	$b_3 = -2$	-
	4	$b_3 = -4$	-
	5	$b_3 = -2$	-
	6	$b_3 = -4$	-
	7	$b_3 = -2$	-
	8	$b_3 = -4$	-

	9	$b_3 = -2$	-
	10	$b_3 = -4$	-

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аринин И.Н.* Техническая эксплуатация автомобилей / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2015.

2. *Афанасьев А.С.* Проектирование предприятий автомобильного транспорта [Текст] : учеб. пособие для студентов по направлению подгот. бакалавриата 23.03.03 "Эксплуатация трансп.-технол. машин и комплексов" и специалитета по специальности 23.05.01 "Автомобил. техника в трансп. технологиях" / А. С. Афанасьев. - СПб. : Свое изд-во, 2017.

3. *Гринцевич В.И.* Техническая эксплуатация автомобилей: технологические расчеты: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Красноярск : СФУ, 2011. — 194 с.

4. *Золотов О. И.* Моделирование систем. Модели систем массового обслуживания [Текст] : учеб. пособие / О. И. Золотов, О. А. Петухов, Р. Р. Хамидуллин ; М-во образования РФ. - [3-е изд., перераб. и доп.]. - СПб. : Изд-во СЗТУ, 2012. - 165 с.

5. *Зорин В.А.* Основы работоспособности технических систем: учебник / В.А. Зорин. – М.: Академия, 2014.

6. *Иванов В.П.* Оборудование автопредприятий [Электронный ресурс] : учеб. / В.П. Иванов, А.В. Крыленко. — Электрон. дан. — Минск : Новое знание, 2014. — 302 с.

7. *Карманов К.Н.* Управление возрастной структурой автомобильного парка: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / К.Н. Карманов, А.Н. Мельников, И.Х. Хасанов. — Электрон. дан. — Оренбург : ОГУ, 2015. — 131 с.

8. *Красовский В.Н.* Системное проектирование технологических процессов централизованного ремонта агрегатов автомобилей по техническому состоянию: монография [Электронный ресурс]: монография / В.Н. Красовский, В.А. Корчагин, В.В. Попцов. — Электрон. дан. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2016. — 152 с.

9. *Малкин В.С.* Основы эксплуатации и ремонта автомобилей / В.С. Малкин, Ю.С. Булгаков. – М.: Академия, 2013.

10. *Мерданов Ш.М.* Проектирование предприятий по эксплуатации и ремонту машин [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ш.М. Мерданов, В.В. Шефер, В.В. Конев. — Электрон. дан. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. — 244 с.

11. *Мороз С.М.* Методы обеспечения работоспособного технического состояния авто-транспортных средств: учебник / С.М. Мороз. – М.: МАДИ, 2015. – 204 с.

12. *Романов В. Н.* Системный анализ [Текст]: учебное пособие / В. Н. Романов . - СПб. : Изд-во СЗТУ, 2012. - 187, [1] с. : табл., рис. - Библиогр.: с. 182-184 (53 назв.). - Предм. указ.: с. 185-187.

13. Планирование и организация технического обслуживания и ремонта автомобилей: учебное пособие по курсовому проектированию [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Р.В. Яблонский [и др.]. — Электрон. дан. — Йошкар-Ола : ПГТУ, 2016. — 80 с.

14. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] : учеб. для вузов / [Е. С. Кузнецов и др.] ; под ред. Е. С. Кузнецова. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 2001. - 534, [1] с. : граф., рис., табл., формы. - Библиогр.: с. 497-500. - ISBN 5-02-002593-3 (в пер.).

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Практическое занятие № 1 Дерево целей и дерево систем автомобильного транспорта и технической эксплуатации..	4
Практическое занятие № 2 Учет неопределенности и риска при оценки эффективности проекта.....	9
Практическое занятие № 3 Методы интеграции мнений	

специалистов.....	16
Практическое занятие № 4 Использование игровых методов при принятии решений в условиях риска.....	28
Библиографический список.....	43

## **УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 23.03.03*

Сост. *Ю.Н. Кацуба*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
транспортно-технологических процессов и машин

Ответственный за выпуск *Ю.Н. Кацуба*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 03.11.2020. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,6. Усл.кр.-отт. 2,6. Уч.-изд.л. 2,2. Тираж 75 экз. Заказ 816 .

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2