

Л.А. Хандожко

**ОПТИМАЛЬНЫЕ
ПОГОДО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ
РЕШЕНИЯ**

$$\bar{R}_{\text{опт}} = \min_{\langle S \rangle} \bar{R}$$



Санкт-Петербург

Л.А. Хандожко

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОГОДО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РЕШЕНИЯ

Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям: «Метеорология», «Гидрология», «Океанология».



Санкт-Петербург
1999

УДК 551.509.59 (075.8)

Хандожко Л.А. Оптимальные погодо-хозяйственные решения. – СПб.: изд. РГГМУ, 1999. – 162 с.

Научные редакторы: проф. В.И. Воробьев (РГГМУ), проф. Р.Н. Ефремов (РГГМУ)

Рецензенты: кафедра климатологии и охраны окружающей среды Санкт-Петербургского государственного университета (зав. кафедрой проф. П.П. Арапов); канд. физ.-мат. наук Т.М. Брунова (Агрофизический научно-исследовательский институт)

Учебное пособие написано по одному из разделов дисциплины «Экономика гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства». В нем изложены основные экономико-статистические положения в области принятия оптимальных погодо-хозяйственных решений в различных отраслях народного хозяйства. Раскрываются методические основы решения широкого спектра задач, связанных с экономически выгодным использованием погодо-климатических ресурсов в интересах отдельных отраслей и экономики страны в целом.

Рассчитано на студентов гидрометеорологических специальностей; будет полезно аспирантам, стажерам и руководящим работникам предприятий, хозяйственных и коммерческих организаций и другим потребителям метеорологических прогнозов.

This training aid «Optimal weather dependent economical decision» by L.A. Khandozhko is written as a part of the course «Economics of the hydrometeorological services of various branches of economy». The issue contains basic economical and statistical notions in the field of taking optimal weather dependent economical decisions in various branches of economy. Methodical bases for the solution of the wide spectrum problems associated with the economically profitable usage of the weather and climate resources are described to provide for the benefit of various branches of economy and for the state economy as a whole.

The aid is intended for the students studying meteorology and hydrology. It will be also useful for those undertaking the research in this field and for leaders of all organizations using meteorological and hydrological forecasts.

ISBN 5-86813-004-9

© Л.А. Хандожко, 1999
© Российский государственный
гидрометеорологический университет, 1999

ПРЕДИСЛОВИЕ

Роль метеорологической информации в управлении производством постоянно возрастает. Практически все отрасли народного хозяйства все больше осознают экономическую целесообразность использования метеорологической информации, особенно прогнозов погоды.

Оперативные решения, принимаемые руководством предприятий, могут носить двойное содержание. Часть их преследует достижение хозяйственных целей, не связанных с погодными условиями. Это чисто хозяйственные решения.

Другая область решений может быть связана с метеорологическими факторами. Потребителю важно не только заблаговременно и вовремя принять меры защиты от неблагоприятной или опасной погоды, но и постоянно и наиболее рационально проводить хозяйственные мероприятия с учетом ожидаемой погоды. Такого рода оперативные экономические решения будем называть погодохозяйственными.

Научные разработки, представленные в данном учебном пособии, составленном в соответствии с Программой дисциплины «Экономика гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства», относятся ко второй области решений, отражающих учет влияния погоды как в оперативном, так и в стратегическом плане. Здесь приведены наиболее предпочтительные с погодохозяйственных позиций пути оптимизации принимаемых потребителем как оперативных решений, так и стратегии – долговременной ориентации его на прогностическую информацию.

Методы оптимизации рассматриваются в фундаментальных монографиях отечественных и зарубежных ученых (Э. Лемана, Ю.В. Линника, А. Вальда, Дж. Фон Неймана, О. Моргенштерна, М. Де Гроота и др.). Они находят широкое применение при решении хозяйственных задач, не затрагивающих влияния погодных условий. Метеорологическая интерпретация их представляется полезной как в учебных, так и в научных целях.

Учебное пособие содержит более доступное изложение теоретических и методических основ оптимального использования метеорологической информации. При достаточном знании студентами вузовского курса теории вероятностей и математической статистики

усвоение предлагаемых методов оптимизации не составит особого труда. В целях предметного изучения приведено большое число примеров, основанных на фактическом материале. Это позволяет более наглядно и осмысленно решать задачи оптимизации. Приведенный материал может быть полезен не только в учебных целях. Представляется возможным использовать его в хозяйственной практике непосредственно в оперативных условиях вплоть до оценки экономической полезности принимаемых потребителем погодохозяйственных решений.

Обратим внимание еще на одно обстоятельство. Оптимизационные задачи – это необходимые экономические процедуры, направленные на ресурсосбережение в практике природопользования. Использование невозобновляемых природных ресурсов заведомо предполагает оптимизацию. Оптимизационные задачи составляют центральное звено природопользования в широком смысле, включая и такие естественные ресурсы среды, как погода и климат. Задача автора состояла в том, чтобы дать более простое изложение и доступное применение некоторых методов принятия оптимальных погодохозяйственных решений, не снижая их научного уровня, и способствовать тем самым повышению эффективности подготовки гидрометеорологических кадров в целях совершенствования отечественной экономики.

ВВЕДЕНИЕ

Использование обществом природных ресурсов является естественной потребностью, обеспечивающей его жизненные интересы. С этой точки зрения все составные части окружающей человека среды в той или иной степени несут ресурсную нагрузку. Это касается атмосферы, гидросферы, почвы и недр Земли. Такие природные ресурсы, как нефть, природный газ, лес, морепродукты, являются необходимыми исходными условиями многообразия деятельности всех отраслей народного хозяйства. В этом залог успеха создания материальных ценностей и межхозяйственного обмена, как и развития внутреннего и внешнего рынка.

В одной из своих работ академик Т.С. Хачатуров приводит красноречивые цифры природных богатств бывшего СССР: 1/2 мировых геологических запасов угля, 2/5 мировых запасов железных и марганцевых руд, 1/4 мировых запасов лесоматериалов и т.д. Однако важной, если не решающей народнохозяйственной проблемой остается ресурсосбережение. Добыча, транспортировка и переработка природного сырья требуют огромных материальных затрат. Только 1% их экономии в 80-е годы составлял около 8.5 млрд. руб. в год.

На каждом участке технологической цепочки преобразования природного сырья ставится задача рационального ведения производственных мероприятий.

Наукой предложен широкий арсенал теоретических разработок, позволяющих принимать оптимальные решения с точки зрения сбережения, экономии, выгоды, получаемой в определенной части производственного процесса или в масштабе всего хозяйственного объекта. Этим проблемам посвящена общая теория линейного программирования, позволяющая найти оптимальные хозяйственные решения в задачах планирования запасов, транспортировки и распределения сырья и в ряде других. Еще в 1939 г. математик Л.В. Канторович обосновал идеи науки о программировании в применении к задачам организации производства и транспорта, а уже в послевоенные годы были развиты основные положения динамического программирования – системы методов, позволяющих решать многоэтапные задачи планирования.

Методы оптимизации дают возможность решать широкий круг производственных задач. Принцип оптимального хозяйствования

может быть применен только в том случае, если цель и средства деятельности выражены измеримыми величинами. При этом максимума реализации цели можно добиться при условии, что при заданной затрате средств достигается цель в максимальной степени. Этим отражается принцип *максимального эффекта*, или *принцип наибольшей эффективности*. Существует иной вариант принципа экономичности. Максимум реализации цели достигается посредством того, что данная степень реализации цели требует *минимальной затраты средств*. Оба подхода в выборе принципа оптимального хозяйствования эквивалентны или, как говорят, инвариантны. Заметим, иногда используется термин рациональное хозяйство, рациональное использование и т.п. Ограничимся следующим утверждением: «рациональное» предполагает использование опыта, экспериментов, подходов и т.д. в выборе лучшего, в достижении целевой задачи; «рациональное» ограничивается абстрагированной практикой. В противоположность ему «оптимальное» требует численного решения доказательства экономических преимуществ или иных целевых установок. Сказанное выше требует обратить внимание на одно важное обстоятельство. В условиях, когда решаются чисто производственные задачи, широко применяемые в практике методы оптимизации, как правило, не касаются влияния погодных условий и нередко образуют самостоятельную «закрытую» относительно внешней среды систему или экономическую область приложения. Метеорологический фактор, в сущности, остается при этом не исключенным из хозяйственной практики. Он лишь затрагивается в экономических моделях линейного и динамического программирования. Это в основном относится к той части экономики природопользования, которая прямо связана с использованием невозпроизводимых, невозобновляемых или предельных природных ресурсов. Однако практика функционирования производства постоянно сталкивается с необходимостью дополнительного использования иных естественных ресурсов.

Остановимся теперь на той части природных ресурсов, которые постоянно возобновляются, остаются вечными в человеческой практике и по своей природе неисчерпаемы. Этими свойствами обладает атмосфера. Здесь можно, например, выделить ветроэнергетические, соляные, тепловые и иные ресурсы. Однако они носят перманентный характер, что обусловлено региональным и сезонным проявле-

нием. Только текущие погодные условия, как отражение комплексного меняющегося состояния атмосферы в малом отрезке времени, в сущности своей сохраняются постоянно. Таким образом, прогнозы погоды следует рассматривать как важнейшие гидрометеорологические ресурсы, нормализующие функционирование производства. Эффективность этой части природопользования, достигаемая посредством гидрометеорологического обеспечения, предполагает не только рациональное, но и оптимальное использование знаний о предстоящих изменениях погоды, т.е. экономически выгодную организацию определений части производства.

Использование невозпроизводимых природных ресурсов сопровождается потерями (ущербом) следующего характера: 1) связанные непосредственно с извлечением природного сырья и их утратой как природного богатства; 2) обусловленные низким уровнем ресурсосберегающих технологий; 3) связанные с отрицательным воздействием на окружающую среду.

Неблагоприятные гидрометеорологические условия вызывают иной характер потерь. Практически все отрасли народного хозяйства несут большие или меньшие прямые потери, обусловленные непогодой (штормовой ветер, продолжительные обильные осадки, грозы, сильные снегопады, метели и др.)

Результативность производственных операций, мероприятий и иных действий, зависящих от погодных условий, будет тем выше, чем оптимальнее система защитных мер. Принимаемые потребителем решения, а в данном случае это будут погодо-хозяйственные решения, которые основаны на поступающей из прогностических подразделений информации и должны обеспечивать максимальную выгоду или минимальные потери при выполнении заданных производственных операций. Специфика производственной деятельности должна диктовать потребителю выбор модели оптимизации и разработку погодо-хозяйственного регламента его поведения в ожидаемых условиях погоды.

1. БАЙЕСОВСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

1.1. Элементы теории стратегических игр. Ситуация полной неопределенности

Стратегическая игра в простейшем виде есть *игра двух лиц с нулевой суммой*. Результат ее зависит от намеченной стратегии игроков A и B в отличие от случайных игр, где исход игры – результат случая (игра в кости). Условия игры задаются матрицей выигрышей $\|a_{ij}\|$ вида

$$(a_{ij}) = \left(\begin{array}{c|cccc} \text{Игрок } A_{(i)} & \text{Игрок } B_j & & & \\ & B_1 & B_2 & \dots & B_m \\ \hline A_1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ \hline A_2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline A_n & a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{array} \right). \quad (1.1)$$

Ее элементы a_{ij} выражают суммы, которые в определенных ситуациях один игрок обязан уплатить другому.

Согласно установленным правилам, исход игры зависит от поведения каждого игрока. Оно может рассматриваться как секретное, подлежащее распознаванию. Правила игры «предписывают» возможность выбора каждому «партнеру» его стратегии: для игрока A – одну из строк, а для игрока B – один из столбцов. Пересечение i -й строки и j -го столбца образует элемент матрицы выигрышей a_{ij} , т. е. *исход игровой ситуации*. Величина a_{ij} принимается как результат выбранных стратегий, приводящих к выигрышу одного или проигрышу другого игрока. Результат игры при этом составляет нулевую сумму – один из них выигрывает столько же, сколько проигрывает другой.

При этом важным условием является то, что ни один из них не знает, какую стратегию принял его соперник (противник, партнер). Решение (стратегия) может быть обнаружено, открыто одновременно.

Пусть игрок A на основании неких посылок, возможно предшествующего анализа поведения игрока B , выбрал стратегию A_2 . Игрок B пришел к выводу о необходимости стратегии B_3 . Это привело к выигрышу игроком B , который составил a_{23} . Заметим, что в реаль-

ных условиях матрица выигрышей противника неизвестна. Она может стать известной по завершению стратегической игры (экономической, военной, политической и др.).

Матрица выигрышей (1.1) может иметь такое содержание, при котором итоговый результат стратегической игры будет выражен ненулевой суммой. Каждый участник игры выигрывает определенные доли ее.

Итак, стратегическая игра в условиях полной неопределенности отражает один из упрощенных вариантов выбора статистического решения. Будем рассматривать его как нулевое приближение. Поскольку решение формируется как статистическое, естественно игроки должны располагать статистической информацией, позволяющей вывести игровую ситуацию из условий полной неопределенности.

Сведения статистического характера, которыми может располагать игрок, могут отражать результат его действий. Это один вид информации. Могут быть статистические сведения о числовом выражении условий, в которых выполняется и от которых зависит хозяйственная программа. Такого рода информация позволяет установить вероятностное распределение случайных величин, характеризующих состояние условий, интересующих данного игрока. Это другой вид информации.

Следует уже заметить, что в качестве игрока может выступать руководитель предприятия, хозяйственная программа которого обусловлена или полной неопределенностью поведения конкурента, или некоторыми факторами, известными частично. Будем полагать, что игрокам A и B известны результаты своего поведения. Теория статистических решений, выступающая, образно говоря, в качестве стороннего наблюдателя, дает упорядоченные сведения о таких выигрышах.

1.2. Методы выбора решений в условиях полной и частичной неопределенности

Принятие решения (стратегии) требует выбора некоторого порогового условия, основанного на статистической оценке «игрового поля». Такого рода оценка может учитывать специфику поведения лица (руководителя), принимающего решения, степень определенности ситуаций, в которых принимаются решения, учет обстоятельств, побуждающих к принятию решения, и другие факторы.

Рассмотрим некоторые методы (принципиальные положения) построения решающих правил, обеспечивающих выбор оптимального, выигрышного решения.

1.2.1. Метод минимакса

Пусть известны результаты выигрышей (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Матрица выигрышей

Стратегия игрока A	Стратегия игрока B			Возможный минимальный выигрыш игрока A
	B_1	B_2	B_3	
A_1	15	20	32	15
A_2	25	18	28	18
A_3	60	80	25	25
Возможный максимальный проигрыш игрока B	60	80	32	макс(25) мин(32)

Матрица выигрышей – игровая, или платежная, – отражает как возможные выигрыши игроков, так и проигрыши. Зная свои *максимальные* проигрыши, игрок B будет руководствоваться принципом: «выбирать стратегию, которая обеспечивает *минимальный* проигрыш». Это будет стратегия B_3 . В условиях полной неопределенности принцип *минимакса* – достаточно разумный подход.

В противоположность этому игрок A может выбрать иной принцип – он будет ориентироваться на *максимальный* выигрыш из *минимально* возможных. Принцип *максимина* также правомерен в такого рода игре.

Заметим, что игрок A , как и игрок B , может выбрать любой из приведенных подходов.

Рассмотрим случай игры с природой. Характеристика природы, ее неким образом обобщенное состояние выступает в качестве одного из игроков. Выбранная дискретность природы определяет задание числа стратегий второго игрока. Возможно обратное: игрок зависимый от природы, может задать число мероприятий, действий и соответствующее ему число состояний природы. Результат игры может быть представлен в виде матрицы полезности $\|a_{ij}\|$, элементы которой суть выражения затрат или выгод в зависимости от цели игрока B и реализации состояний игрока A (табл. 1.2).

Пусть элементы матрицы отражают затраты, которые могут быть в случае решений $d_1 - d_5$ (осуществления одного из проектов строительства объекта комплексного обеспечения автотранспорта на топографически сложном, но во многом привлекательном (в природном отношении) участке крупной автомагистрали). В соответствии с теорией стратегической игры будет использован принцип *минимакса*. Для каждого решения (проекта) d_j будет установлено максимальное значение издержек

$$a_j^{\max} = \max (d_j, \Phi_i).$$

Таким путем устанавливается набор максимальных значений a_j^{\max} , охватывающий все представленные проекты (d_j). Выбирается минимальный элемент в наборе максимальных значений a_j^{\max}

$$a_{\min} = \min_j \max_i (d_j, \Phi_i). \quad (1.2)$$

Тем самым допускается оптимальное поведение (действие), которое принимается как более разумное с позиции финансовых издержек (d_2). Такая стратегия ограничивает риск максимально возможных потерь. Принцип минимакса отражает осторожную стратегию игрока с природой. Появляется стремление получить лучшие результаты в наихудших ситуациях, что возможно в условиях полной неопределенности относительно поведения природы (задание климатического режима Φ_i).

Таблица 1.2

Матрица полезности (затрат, выгод) (a_{ij})

Поведение (Φ_j) игрока А (природы)	Решение (d_j) игрока В (лицо, принимающее решение)				
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
Φ_1	3	5	3	4	4
Φ_2	7	3	5	4	3
Φ_3	6	4	8	5	4
Φ_4	2	3	4	5	6
Φ_5	5	4	3	6	4
макс a_{ij} i	7	5	8	6	6
мин a_{ij} i	2	3	3	4	3
\bar{a} (среднее по Гурвичу)	4.5	4.0	5.5	5.0	4.5

Если элементы матрицы полезности (a_{ij}) выражают доходы, возможные как результат эксплуатации объектов, то выступает не-

обходимость выбора стратегии, обеспечивающей максимальный выигрыш из минимально возможных. На основании значений a_j^{\min} устанавливается экстремум вида макс

$$a_{\max} = \max_j \min_i (d_j, \Phi_i). \quad (1.3)$$

С этих позиций оптимальным следует считать решение d_4 . Величину $\max_j \min_i a_{ij}$ называют *нижней ценой* игры, а $\min_j \max_i a_{ij}$ – *верхней ценой* игры.

Минимаксный подход в выборе оптимальной стратегии может быть использован в проблеме решения метеоролого-экономических задач, требующих знания климатологической информации. Действительно, в этих случаях построение матрицы расходов невозможно осуществить путем экспериментирования. Требуется задание определенных типов климатических условий (Φ_i) и соответствующих им необходимых капитальных издержек.

К таким задачам можно отнести:

- выбор объемов сезонного запаса топлива;
- выбор оросительной системы и нормы орошения в зависимости от влагообеспеченности;
- выбор места строительства объекта (коммунального, торгового или иного назначения) в зависимости от комплекса мезо- и микроклиматических условий;
- выбор урожайного сорта сельскохозяйственной культуры в зависимости от водопотребления в заданных районах и многие другие задачи.

Существуют различные разновидности, модификации принципов *минимакса* и *максимина*.

1.2.2. Принцип Гурвича

Возможно компромисное решение – определение среднего значения по минимуму (a_{\min}) и максимуму (a_{\max}) при данном d_j . Это известный *метод Гурвича*. Он отражает взвешенный подход к наибольшей и наименьшей возможностям, соответствующим каждому d_j . Если допустить, что они имеют одинаковые веса, то этот принцип

требует определения среднего значения $\bar{a} = 0.5 (a_{\min} + a_{\max})$ (нижняя строка в табл. 1.2). Оптимальным будет решение d_3 с максимальным \bar{a} . Однако руководство проектными разработками может обратиться и к смежному решению d_2 или d_4 .

1.2.3. Принцип Сэвиджа

Матрицу полезности, представленную значениями a_{ij} в табл. 1.2, можно преобразовать. Необходимо установить последствия ошибочных решений путем сопоставления результатов a_{ij} принятых решений с теми, которые могли быть, если бы состояния природы Φ_i были известны.

Будем полагать, что a_{ij} (см. табл. 1.2) – суть выгода (U). Тогда можно определить значения a_{ij} , характеризующие *потерю выгоды* или ее *снижение* относительно максимальной выгоды при данной фазе климатических условий (или режима погоды) Φ_i :

$$a_{ij}^* = \max_j a_{ij} - a_{ij}.$$

Согласно данным табл. 1.2, при фазе Φ_1 и $U(a_{ij})_{\max} = 5$ находим ряд a_{ij}^* : 2; 0; 2; 1; 1. В итоге матрица последствий ошибочных решений, или *матрица сожалений*, будет иметь вид, представленный в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Матрица сожаления

Состояния природы Φ_i	Решения d_j				
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
Φ_1	2	0	2	1	1
Φ_2	0	4	2	3	4
Φ_3	2	4	0	3	4
Φ_4	4	3	2	1	0
Φ_5	1	2	3	0	2
макс a_{ij}	4	4	3	3	4

Выбор решения (стратегии) d отвечает условию

$$d^* = \min_j \max_i a_{ij}^*. \quad (1.4)$$

Выбираем решение d_j , при котором значение $\max_i a_{ij}^*$ минимально. В этом суть правильного выбора. В приведенном примере $\min_j \max_i a_{ij}^* = 3$. Это указывает на два возможных решения $\tilde{d}^* = d_3 = d_4$. Такой исход оценки потребует от разработчика программы (игрок A) окончательного решения.

Если допустить, что элементы a_{ij} матрицы полезности есть расходы (потери), то можно установить, насколько они превышают минимальные при данной фазе Φ_i , т.е. найти величину

$$\tilde{a}_{ij} = a_{ij} - \min_j a_{ij}. \quad (1.5)$$

Элементы \tilde{a}_{ij} новой матрицы выражают *превышение потерь*. Такого рода матрицу можно назвать *матрицей опасения*.

Выбор решения (стратегии) \tilde{d} может быть установлен по правилу

$$\tilde{d} = \min_j \max_i \tilde{a}_{ij}. \quad (1.6)$$

Расчеты показывают, что в этом случае необходимо ориентироваться на стратегию $\tilde{d} = d_4$.

Е.Е. Жуковский значения \tilde{a}_{ij} называет *метеорологическими потерями*, а Н.А. Багров – *приведенными*.

1.2.4. Метод Байеса – Лапласа (частичная неопределенность)

Минимаксную стратегию называют еще стратегией перестраховщиков, избегающих серьезных экономических последствий ошибочного выбора плана действий относительно действительных погодо-климатических условий. Ситуацию неопределенности можно частично избежать, если известны вероятности осуществления тех или иных климатических условий или типов погоды. Первоначально Байес (1763 г.) предложил использовать равновероятные состояния природы. Такой подход представляется упрощенным. Лаплас (1812 г.) обобщил этот принцип на случай различных вероятностей.

Пусть типовым климатическим условием Φ_i (или иным дискретным состоянием природы) приписаны вероятности Φ_i их осуществле-

ния. Это позволяет установить средние значения (математические ожидания M) полезности (потерь, выгод) для данного решения d_j :

$$M(a) = \sum_{i=1}^n a_i p_i. \quad (1.7)$$

Допуская равновероятные осуществления каждой из пяти градаций Φ_i (см. табл. 1.2) для решения d_1 , находим

$$M(a)d_1 = 0.2(3 + 7 + 6 + 2 + 5) = 4.6.$$

Соответственно для остальных уравнений: $M(a)d_2 = 3.8$; $M(a)d_3 = 4.6$; $M(a)d_4 = 4.8$; $M(a)d_5 = 4.2$. Если значениям a придать смысл потерь, то, очевидно, наиболее выгодным будет стратегическое решение d_2 . Полагая, что значения a отражают выгоду, рентабельность и т. п., экономически оправданной будет стратегия d_4 .

Выбранные градации Φ_i климатических условий в действительности имеют разную вероятность. Пусть многолетние данные об увлажнении представлены так: $P(\Phi_1) = 0.05$ (засушливые годы); $P(\Phi_2) = 0.10$ (годы со слабым увлажнением); $P(\Phi_3) = 0.45$ (годы с умеренным увлажнением); $P(\Phi_4) = 0.25$ (годы с достаточным увлажнением); $P(\Phi_5) = 0.15$ (годы с избыточным увлажнением). Они могли быть, например, использованы при выборе затрат на определенную систему мелиорации (улучшение земель и повышение плодородия почв). В этом случае оценка дает следующие средние выражения $M(a)$:

d_j	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
$M(a)$	4.80	3.70	5.70	5.00	4.40

Предпочтительнее, как видим, выбрать стратегию d_2 . Если a придать значение повышения урожайности (в условных единицах) за счет повышения плодородия земель, то следует выбрать стратегию d_3 . Заметим, что если в противоположных по экономическому смыслу значениях a стратегии расположены рядом, как в приведенном примере, то выбор образа действия может носить промежуточный характер, в большей степени отражающий искомое решение. Аналогичные задачи могут решаться применительно к выбору маршрута и покрытия при строительстве дорог; к выбору строительства оздоровительных объектов; к планированию оросительных норм; к выбору количества и сроков внесения подкормок и др.

Если по конкретному ожидаемому условию погоды (климата) каждый раз выбирается одно и то же действие, то такая стратегия называется *чистой*. Стратегии называют *смешанными*, если они выбираются из распределения вероятностей действий p_d , отвечающих ожидаемой природной ситуации.

Смешанная стратегия содержит столько отдельно взятых стратегий, сколько факторов определяет их выбор. Пусть p_1, p_2, p_3 – некоторые вероятности осуществления условий, определяющих выбор стратегии \mathcal{S} . Выбор \mathcal{S} можно записать так:

$$\mathcal{S} = \begin{pmatrix} \mathcal{S}_1 & \mathcal{S}_2 & \mathcal{S}_3 \\ p_1 & p_2 & p_3 \end{pmatrix}. \quad (1.8)$$

Стратегия \mathcal{S}_j , обеспечивающая оптимальный выигрыш или минимальный проигрыш, называется *оптимальной стратегией* $\mathcal{S}_{\text{опт}}$.

Выигрыш, полученный на основании $\mathcal{S}_{\text{опт}}$, есть *цена игры*, которую можно выразить в денежном или натуральном измерении.

1.3. Общая схема разработки оптимальных решений на основе метеорологических прогнозов

Модели оптимальных решений должны включать в себя дискретное множество фактических состояний погоды и формулировки прогноза, а также матрицы их сопряженности. На этой основе с привлечением некоторых экономических характеристик потребителя и определенных критериев выбираются оптимальные решения.

Назначение метеорологических прогнозов – способствовать достижению успеха при выполнении конкретного производственного процесса. Это следует из того очевидного факта, что в системе погода–прогноз–потребитель осуществляется постоянное «взаимодействие» экономического и природного факторов. Нередко погода может быть столь же значима, как и сам хозяйственный механизм осуществления производственного плана, а иногда играть и более важную роль.

Множество возможных фактических состояний погоды ($\Phi_i, i = \overline{1, n}$) и формулировок прогноза ($\Pi_j, j = \overline{1, m}$) можно обобщить в табличном виде. Матричная основа такого распределения позволяет установить совмещенность (сопряженность) $\Pi_j \sim \Phi_i$ в вероятностной

(p_{ij}) форме. Вероятностное описание сопряженности $p(\Phi_i, \Pi_j)$ есть базовое условие разработки модели принятия оптимальных погодохозяйственных решений и оценки их экономической полезности.

Выбрать оптимальное решение можно только в том случае, если известна на основании опыта или устанавливается аналитически *результативность* U уже принимавшихся в прошлом или предстоящих погодохозяйственных решений d . Эта формальная задача, которая сводится к тому, чтобы найти функцию, определяющую *выигрыш* g или *потери* s потребителя при различных сочетаниях погодохозяйственных решений d и последующей фактически наблюдавшейся погоды Φ . Тем самым раскрывается *функция полезности* $U(d, \Phi)$ (выигрыша, потерь), которая отражает результат поведения потребителя при известной ему информации об ожидаемой погоде или если такая информация задается им как априорное условие.

Вид функции полезности зависит от формы задания определяющих ее аргументов. Это может быть математическое выражение экономико-метеорологических посылок и суждений, включающих (по мнению исследователя) основные аргументы целевой задачи. Такого рода представление функции не утверждает всеобщность и универсальность, а отражает лишь частность, определенную специфику производства. Однако общим условием для такого рода функционального описания является учет степени отклонения ожидаемой погоды Π , на которую рассчитывал потребитель, от фактической Φ .

Специфика хозяйственной деятельности позволяет установить такой экономический показатель, на основании которого анализируется и обобщается его хозяйственный успех. Известно большое число показателей или критериев, которые в хозяйственной практике необходимо свести к экстремуму. Возьмем такую отрасль, как транспорт. Здесь в качестве определяющей экономической категории может выступать время. Экономия (минимизация) времени обеспечивает снижение расхода топлива, повышает эффективность производимой продукции, снижает ее себестоимость. В сельскохозяйственном производстве в качестве такого критерия естественно используется урожайность. В этом случае главное требование – повышение ее (максимизация). Однако возможна и иная целевая установка – снижение изменчивости урожая. В большинстве отраслей экономики особое значение придается *оценке средних потерь* \bar{R} по

метеорологическим причинам. Снижение их – одна из фундаментальных задач в области экономической метеорологии. В дальнейшем будем обращаться в основном к этому критерию. Приведенные выше, как и многие другие, показатели результативности учета метеорологического фактора рассматриваются как критерии оптимальности (функции цели).

Отметим одно обстоятельство. Если потребителем выбран критерий оптимальности для данного вида производственных работ, то следует дать ему функциональную оценку. Иначе необходимо разработать аналитическое выражение функции цели, содержащей аргументацию зависимости этого критерия оптимальности от определяющих его факторов, и обосновать дискретное представление его в матричном виде.

Выбор оптимального решения $d_{\text{опт}}$ или оптимальной стратегии $\mathcal{S}_{\text{опт}}$ предполагает, что критерий оптимальности известен и, более того, реализован потребителем при различных методических принципах использования погодных условий. Это значит, что критерий оптимальности подвергается «экзамену» при различной ориентации потребителя на те или иные природные ресурсы: ориентацию на климат, на текущую погоду, на оперативный прогноз и др.

Общая схема разработки модели принятия оптимального решения применительно к средним потерям (\bar{R}) приведена на рис. 1.1.

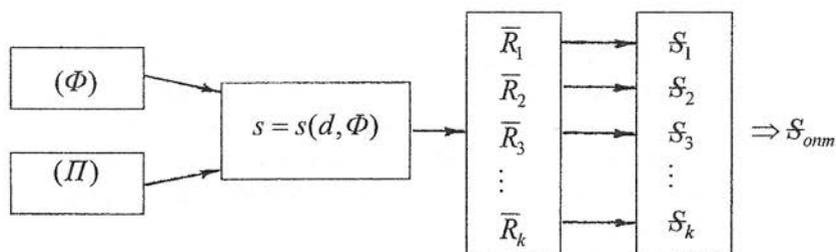


Рис. 1.1. Принципиальная модель выбора оптимального решения (стратегии).

$s = s(d, \Phi)$ – функция потерь; \bar{R}_k – средние потери, \mathcal{S}_k – погодо-хозяйственные стратегии, из которых выбирается $\mathcal{S}_{\text{опт}}$.

1.4. Анализ прогностической информации и учет теоремы Байеса

Поскольку вначале разрабатывается прогноз Π , а затем уже осуществляется погода Φ , то это дает основание определять степень адекватности прогноза и факта в последовательности вида $\Pi_j \sim \Phi_i$. Выделенные признаки, однородные свойства Π_j и Φ_i позволяют свести их численный набор N в обобщенную форму – в виде *таблицы* (*матрицы*) сопряженности $\|n_{ij}\|$.

Наиболее распространенной пока остается матрица сопряженности прогноза явления или иного альтернативного условия погоды. Она имеет размерность 2×2 (табл. 1.4)

Таблица 1.4

Матрица сопряженности

Фактически наблюдалось Φ_i	Прогноз Π_j		$\sum_{j=1}^2 n_j$
	Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	n_{11}	n_{12}	n_{10}
$\bar{\Phi}$	n_{21}	n_{22}	n_{20}
$\sum_{i=1}^2 n_i$	n_{01}	n_{02}	N

Примечания. 1. В целях удобства анализа матрицы, содержащей элементы a_{ij} , например $(a_{ij}) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$, условимся записывать ее в виде таблицы с входными параметрами для i, j или просто в виде прямых скобок. 2. Черта над Π и Φ соответственно означает: явление «не прогнозировалось» и «не наблюдалось».

Матрица сопряженности размерности 2×2 (см. табл. 1.4) представляется очевидной в случае прогноза явления погоды (гроза, туман, гололед и т.д.). Разработка такой матрицы сопряженности для метеорологической величины (температура, ветер и др.) или иного состояния погоды требует задания *порогового условия*. Это может быть штормовое значение скорости ветра (например, $\Pi(V \geq 15 \text{ м/с})$ и $\bar{\Pi}(V \geq 0 \div 14 \text{ м/с})$, или критическое значение температуры воздуха для данного вида производственных работ, или критическая отметка погодных условий, например высоты нижней границы облаков нижнего яруса, горизонтальной дальности видимости и другие.

Матрица сопряженности метеорологических величин (Π_j, Φ_i) или явлений погоды (Π_j, Φ_i) представляет собой эффективный способ (инструмент) статистического описания и анализа результатов прогнозирования.

Следует выделить два основных признака матрицы сопряженности.

1. *Уровень дискретности* – рассчитанное или заданное число градаций. Если весь ряд свойств признаков (Π, Φ) разделен на две градации (фазы) – это альтернативный наименее информативный уровень дискретности. Число градаций более двух отражает многоуровневую дискретность. В соответствии с уровнем дискретности различают матрицы альтернативного (дихотомического) и многофазового прогнозов.

2. *Вид дискретности* – порядок (размерность) матрицы сопряженности, которая может быть «квадратной» ($2 \times 2, 4 \times 4$ и т.д.) или «прямоугольной» ($2 \times 3, 4 \times 6$ и т. д.)

Элементы матрицы сопряженности прогностических Π_j и фактических Φ_i состояний погоды есть совместные частоты $n_{ij} = n(\Phi_i, \Pi_j)$, позволяющие дать *вероятностное описание последовательности* $\Pi_j \sim \Phi_i$.

В дальнейшем будем рассматривать преимущественно такие задачи, когда число состояний погоды (фаз, градаций) совпадает с числом возможных решений потребителя, образующих регламент его поведения, обусловленный ожидаемой погодой.

Допустим известны априорные вероятности осуществления каждой из двух фаз прогноза скорости ветра: $p(\Phi)$ при $V \geq 12$ м/с и $p(\bar{\Phi})$ при $V = 0 - 11$ м/с (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Матрица сопряженности методических прогнозов скорости ветра при $V_{\text{нп}} \geq 12$ м/с. Санкт-Петербург, 1987–1990 гг.

Φ_i	Π_j		\sum_j
	$\Pi(V \geq 12)$	$\bar{\Pi}(V < 12)$	
$\Phi(V \geq 12)$	245	51	296
$\bar{\Phi}(V < 12)$	103	815	918
\sum_i	348	866	1214

Примечание. В научной литературе встречаются различные названия такого рода матриц: «матрица сопряженности для прогноза...», «матрица сопряженности прогнозов и фактических состояний...» и др. Мы будем использовать термин «матрица сопряженности прогнозов...».

По данным табл. 1.5 находим $p(\Phi) = n_{10}/N = 296/1214 = 0.244$ и $p(\bar{\Phi}) = n_{20}/N = 918/1214 = 0.756$. Эти вероятности могут быть интерпретированы как природные (климатические), полученные в результате обработки данных наблюдений за скоростью ветра в Санкт-Петербурге за четырехлетний период в холодную часть года.

Допустим альтернативу $(\Phi, \bar{\Phi})$ и рассмотрим два предиктора $(\Pi, \bar{\Pi})$ – предсказатели той или иной фазы скорости ветра.

В реальной синоптической практике прогноз скорости ветра является многофазовым. Число прогнозируемых градаций достаточно велико. Однако здесь рассматривается простая альтернатива в силу того, что на сегодня условия использования прогнозов реально сложились именно в виде такой же альтернативы. Например, при $V = 0 \div 11$ м/с регламентируются рабочие, производственные условия, а в случае $V_{шт} \geq 12$ м/с производство функционирует в режиме «защиты». На основании матрицы сопряженности (см. табл. 1.5) можно установить вероятность осуществления текстов прогнозов Π и $\bar{\Pi}$.

Так,

$$p(\Pi) = \sum_{i=1}^n p(\Phi_i) p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right), \quad (1.9)$$

где $p(\Phi_i) = \frac{n_{i0}}{N}$, $p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right) = \frac{n_{ij}}{n_{i0}} = q'_{ij}(\Pi)$.

Пусть всего составлено 1214 прогнозов. Из 296 случаев Φ на признак Π пришлось 245, т.е. $p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right) = 0.828$.

В свою очередь этому признаку (Π) соответствовало 103 из 918 случаев $\bar{\Phi}$, что составляет $p\left(\frac{\Pi}{\bar{\Phi}}\right) = 0.112$.

Отсюда полная вероятность признака Π определяется так:

$$p(\Pi) = p(\Phi) p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right) + p(\bar{\Phi}) p\left(\frac{\Pi}{\bar{\Phi}}\right),$$

или $p(\Pi) = 0.244 \cdot 0.828 + 0.756 \cdot 0.112 = 0.287$.

Действительно, $p(\Pi) = \frac{n_{01}}{N} = 348 : 1214 = 0.287$.

Вероятности $p(\Phi)$ и $p(\bar{\Phi})$ выполняют роль весовых коэффициентов при относительных долях (0.828 и 0.112) осуществления текста Π в реализациях Φ и $\bar{\Phi}$.

В свою очередь полная вероятность противоположного признака $\bar{\Pi}$ есть величина $p(\bar{\Pi}) = p(\Phi)p\left(\frac{\bar{\Pi}}{\Phi}\right) + p(\bar{\Phi})p\left(\frac{\bar{\Pi}}{\bar{\Phi}}\right)$, равная 0.713.

Суммарная вероятность признаков $(\Pi, \bar{\Pi})$: $\sum_{j=1}^m p(\Pi_j) = 1$.

Теперь поставим задачу несколько иначе. Требуется найти условную вероятность того, что заданному тексту Π принадлежит фаза Φ или что этому же тексту Π – иная фаза $\bar{\Phi}$. Тогда можно воспользоваться формулой

$$p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi}\right) = \frac{p(\Pi, \Phi_i)}{p(\Pi)}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1.10)$$

Возможна противоположная постановка задачи и поиск условной вероятности иного характера, а именно

$$p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right) = \frac{p(\Pi, \Phi_i)}{p(\Phi_i)}. \quad (1.11)$$

Из уравнений (1.10) и (1.11) следуют оценки совместных вероятностей $\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right)$, что позволяет перейти к равенству

$$p(\Pi)p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi}\right) = p(\Phi_i)p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right).$$

Отсюда с учетом (1.9) и принадлежности Φ_i к условию j находим

$$p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi}\right) = \frac{p(\Phi_i)p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right)}{\sum_{j=1}^n p(\Phi_j)p\left(\frac{\Pi}{\Phi_j}\right)}. \quad (1.12)$$

Уравнение (1.12) называют *формулой Байеса*, или *формулой вероятностей гипотез Φ_i* .

Вместо уравнения (1.12) представляется возможным использовать более простое выражение

$$p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi}\right) = \frac{p(\Phi_i)p\left(\frac{\Pi}{\Phi_i}\right)}{p(\Pi)}. \quad (1.13)$$

Формула (1.13), как и (1.12), отражает *условную вероятность* появления, осуществления некоторого признака (явления, неблагоприятного или благоприятного условия погоды и т.п.) Φ_i при известном условии (тексте прогноза) Π .

В соответствии с формулой (1.13) апостериорная оценка, – в частности, совместная вероятность $p(\Phi, \Pi)$ – пропорциональна произведению априорной оценки $p(\Phi)$ на *правдоподобие* полученной информации $p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right)$. Величина $p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right)$ рассматривается как мера того, насколько вероятно получить информацию Π , если полагать, что явление Φ осуществилось. В свою очередь частное от деления двух

вероятностей $\frac{p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right)}{p(\Pi)}$ есть *отношение правдоподобия* для правильно-

го прогноза Φ . Согласно данным табл. 1.5, $\frac{p\left(\frac{\Pi}{\Phi}\right)}{p(\Pi)} = \frac{245}{296} : \frac{348}{1214} = \frac{0.827}{0.287} = 2.88$.

Выражая формулу (1.12) или (1.13) через частоты (n_{ij}) альтернативного прогноза (см. табл. 1.4), запишем

$$p\left(\frac{\Phi}{\Pi}\right) = \frac{\left(\frac{n_{10}}{N} \cdot \frac{n_{11}}{n_{10}}\right)}{\frac{n_{01}}{N}} = \frac{n_{11}}{n_{01}} = q_{11} \quad (1.14)$$

– условная вероятность успешного прогноза наличия явления;

$$p\left(\frac{\bar{\Phi}}{\Pi}\right) = \frac{n_{21}}{n_{01}} = q_{21} \quad (1.15)$$

– условная вероятность ошибочного прогноза наличия явления;

$$p\left(\frac{\Phi}{\bar{\Pi}}\right) = \frac{n_{12}}{n_{02}} = q_{12} \quad (1.16)$$

– условная вероятность ошибочного прогноза отсутствия явления;

$$p\left(\frac{\bar{\Phi}}{\bar{\Pi}}\right) = \frac{n_{22}}{n_{02}} = q_{22} \quad (1.17)$$

– условная вероятность успешного прогноза отсутствия явления.

В итоге матрица условных вероятностей $p(\Phi_i/\Pi_j) = q_{ij}$ выглядит так

$$(q_{ij}) = \begin{array}{c|cc} & \Pi & \bar{\Pi} \\ \hline \Phi & q_{11} & q_{12} \\ \hline \bar{\Phi} & q_{21} & q_{22} \\ \hline \sum_i & 1 & 1 \end{array} \quad (1.18)$$

Если использовать те же данные табл. 1.5, то априорная (природная) вероятность фазы $V \geq 12$ м/с $p(\Phi)$ будет равна 0.244. Использование же метода прогнозирования скорости ветра позволяет увеличить вероятность осуществления этой градации до значения $p\left(\frac{\Phi}{\Pi}\right) = 0.704$. Условные вероятности, как видим, больше безусловных.

Следует подчеркнуть, что условные вероятности $q_{ij} = p\left(\frac{\Phi_i}{\Pi_j}\right)$, определяемые по формуле Байеса, дают полное описание в вероятностной форме достоинств той или иной прогностической информации, которая используется потребителем в оперативной хозяйственной практике.

Рассмотрим примеры вероятностного описания осуществления прогнозов Π_j согласно сопряженности $\Pi_j \sim \Phi_i$.

При решении практических задач за численное значение вероятности случайного события приближенно принимается относительная частота, полученная на большом числе испытаний (случаев). Нередко такие вероятности называются эмпирическими.

Пример 1. Ниже приведены матрицы сопряженности прогнозов гроз в Санкт-Петербурге для методических и случайных прогнозов за период с 1981 по 1993 г.:

Методические прогнозы			Случайные прогнозы				
	Π	$\bar{\Pi}$	\sum_j		Π	$\bar{\Pi}$	\sum_j
Φ	237	100	337	Φ	75	262	337
$\bar{\Phi}$	207	1445	1652	$\bar{\Phi}$	369	1283	1652
\sum_i	444	1545	1989	\sum_i	444	1545	1989

Выразим частное распределение n_{ij} в вероятностной форме.

Совместная апостериорная вероятность $p_{ij} = p(\Phi, \Pi) = \frac{n_{ij}}{N}$ приведена ниже:

Методические прогнозы			Случайные прогнозы				
	Π	$\bar{\Pi}$	\sum_j		Π	$\bar{\Pi}$	\sum_j
Φ	0.119	0.050	0.169	Φ	0.038	0.131	0.169
$\bar{\Phi}$	0.104	0.727	0.831	$\bar{\Phi}$	0.185	0.646	0.831
\sum_i	0.223	0.777	1.000	\sum_i	0.223	0.777	1.000

Так, для сопряжения $\Pi \sim \Phi$ находим: $p_{11} = 237/1989 = 0.119$.

Условные (апостериорные) вероятности осуществления фазы погоды Φ при известном тексте прогноза Π , согласно формуле Байеса (1.13), имеют вид

$$q_{ij} = \frac{p(\Phi_i, \Pi_j)}{\sum_i p(\Phi_i, \Pi_j)} = \frac{n_{ij}}{n_{0j}}$$

Ниже приведены их значения:

Методические прогнозы		Случайные прогнозы			
	Π	$\bar{\Pi}$			
Φ	0.534	0.065	Φ	0.169	0.169
$\bar{\Phi}$	0.466	0.935	$\bar{\Phi}$	0.831	0.831
\sum_j	1.000	1.000	\sum_j	1.000	1.000

В частности, для элемента $\Pi \sim \Phi$ в матрице сопряженности методических прогнозов находим $q_{11} = 237/444 = 0.534$, а $q_{22} = 1445/1545 = 0.935$.

Условные вероятности q_{ij} в данном случае позволяют прогнозисту сделать заключение: на основании текста прогноза Π потребителю можно дать *предварительную рекомендацию* ориентироваться на воз-

возможность осуществления явления Φ , а в случае текста $\bar{\Pi}$ – на отсутствие этого явления. Заметим, что решение потребителя $d(\Pi)$ при таком доверии будет неполным, недостаточно обоснованным, так как не учитывается специфика его хозяйственной деятельности, главной особенностью которой являются потери по метеорологическим условиям.

Можно установить *условные (апостериорные) вероятности* выбора текста прогноза Π , если известна реализация фазы погоды Φ , т.е.

$$q'_{ij} = \frac{p(\Phi_i, \Pi_j)}{\sum_i p(\Phi_i, \Pi_j)} = \frac{n_{ij}}{n_{i0}}. \quad (1.19)$$

Вероятности q'_{ij} имеют следующие значения:

	Методические прогнозы			Случайные прогнозы		
	Π	$\bar{\Pi}$	\sum_j	Π	$\bar{\Pi}$	\sum_j
Φ	0.703	0.297	1.000	0.223	0.777	1.000
$\bar{\Phi}$	0.125	0.875	1.000	0.223	0.777	1.000

Пример 2. Дадим сравнительную оценку вероятностных характеристик полусуточного прогноза скорости ветра при различных пороговых (штормовых) условиях: $V_{шт} \geq 12$ м/с, $V_{шт} \geq 17$ м/с, $V_{шт} \geq 20$ м/с.

Прогнозы скорости ветра по Санкт-Петербургу за период с 1987 по 1990 г. (холодная часть года) обобщены в матрицах сопряженности (табл. 1.6 – 1.8)

Таблица 1.6

Матрица сопряженности при $V_{шт} \geq 12$ м/с.
Санкт-Петербург, 1987–1990 гг.

Φ_i	Методические прогнозы			Инерционные прогнозы		
	Π_j	$\bar{\Pi}$	\sum_j	Π_j	$\bar{\Pi}$	\sum_j
Φ	245	51	296	130	166	296
$\bar{\Phi}$	103	815	918	166	752	918
\sum_i	348	866	1214	296	918	1214

Примечание. Здесь и в табл. 1.7 и 1.8 Π и Φ отражают опасную градацию скорости ветра $V \geq 12$ м/с, а $\bar{\Pi}$ и $\bar{\Phi}$ – градацию $V = 0 - 11$ м/с.

Таблица 1.7

Матрица сопряженности при $V_{шт} \geq 17$ м/с
Санкт-Петербург, 1987–1990 гг.

Φ_i	Методические прогнозы		\sum_j	Φ_i	Инерционные прогнозы		\sum_j
	Π	$\bar{\Pi}$			Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	54	12	66	Φ	24	42	66
$\bar{\Phi}$	28	1120	1148	$\bar{\Phi}$	42	1106	1148
\sum_i	82	1132	1214	\sum_i	66	1148	1214

Таблица 1.8

Матрица сопряженности при $V_{шт} \geq 20$ м/с.
Санкт-Петербург, 1987–1990 гг.

Φ_i	Методические прогнозы		\sum_j	Φ_i	Инерционные прогнозы		\sum_j
	Π	$\bar{\Pi}$			Π	$\bar{\Pi}$	
Φ	15	12	27	Φ	8	19	27
$\bar{\Phi}$	17	1170	1187	$\bar{\Phi}$	19	1168	1187
\sum_i	32	1182	1214	\sum_i	27	1187	1214

Обобщенные результаты оценки условных вероятностей

$$q_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{0i}}$$

приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Обобщенная оценка q_{ij}

Методические прогнозы		$V_{шт} \geq 12$ м/с	Инерционные прогнозы	
0.704	0.059		0.439	0.181
0.296	0.941	0.561	0.819	
1.000	1.000	1.000	1.000	
		$V_{шт} \geq 17$ м/с		
0.659	0.011		0.364	0.037
0.341	0.989		0.636	0.963
1.000	1.000	1.000	1.000	
		$V_{шт} \geq 20$ м/с		
0.469	0.010		0.296	0.016
0.531	0.990		0.703	0.984
1.000	1.000	1.000	1.000	

Преимущество методических прогнозов относительно инерционных очевидно. Точность методических прогнозов Q_M (критерий точности прогнозов по Обухову) существенно больше аналогичной точности для инерционных прогнозов $Q_{ин}$ (рис. 1.2)

Условные вероятности q также позволяют установить преимущество одного метода прогнозирования перед другим. Однако большее их значение относится к области принятия потребителем погодо-хозяйственных решений.

С позиций метеорологического заключения прогнозы наличия и отсутствия явления ($V_{шт} \geq 12; 17; 20$ м/с), судя по результатам прогнозирования (табл. 1.9), содержат высокую успешность, особенно для $V_{шт} \geq 12$ м/с и 17 м/с (см. рис. 1.2)

С позиций потребителя тексты прогноза Π дают основания в первом приближении следовать утверждению синоптика относительно возможности усиления ветра ($V_{шт} \geq 12$ м/с; $V_{шт} \geq 17$ м/с). Аналогичные действия потребителя будут более обоснованы в случае доверия тексту прогноза $\bar{\Pi}$, что также подтверждается оценкой точности прогнозов по Обухову Q .

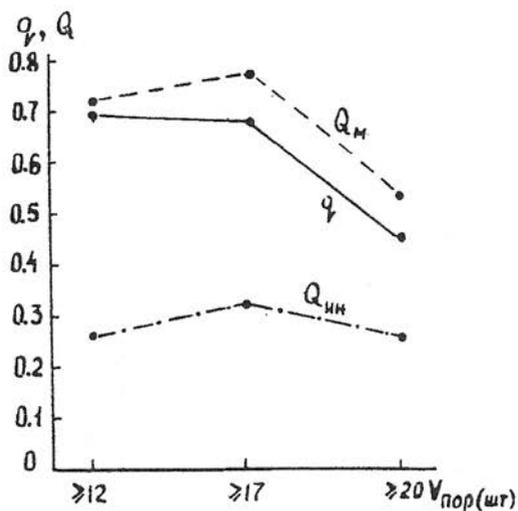


Рис. 1.2. Условная вероятность q и критерии Q_M , $Q_{ин}$ методических и инерционных прогнозов скорости ветра при различном штормовом пороге (Санкт-Петербург, 1987–1990 гг.)

Следует еще одно заключение. Потребитель, очевидно, предъявит требование к поставщику информации в необходимости повысить качество прогнозов ветра при скорости, равной 20 м/с и более. Заметим, что штормовые предупреждения (предупреждения об опасных явлениях) с заблаговременностью менее 12 ч могут иметь более высокую успешность.

Здесь мы вкратце остановились лишь на таком показателе, как условная вероятность q , что потребуются в дальнейшем при использовании прогнозов в задачах принятия погодо-хозяйственных решений, поскольку байесовский подход формально позволяет описать процесс учета новой информации при уточнении вероятностных оценок.

1.5. Анализ экономической информации

В подавляющем большинстве потребители используют прогностическую информацию в целях предотвратить и частично уменьшить возможные прямые потери L от неблагоприятных условий погоды.

Согласно известной классификации, различают следующие виды потерь по метеорологическим условиям: *возможные*, если потребитель не располагает необходимой метеорологической информацией или ее не использует; *предотвратимые* – часть возможных, которую удастся предотвратить; *непредотвращенные (реальные)*, которые не удастся предотвратить даже в условиях принимаемых мер защиты; *потенциально-предотвратимые*, которые дополнительно могут быть предотвращены при совершенствовании механизма реализации прогнозов, и *непредотвратимые*, предотвратить которые на сегодня невозможно. Уменьшить эти потери – главная задача потребителей, использующих прогнозы. Для этой цели в хозяйственной практике требуются необходимые затраты C на *предупредительные меры* в тех случаях, когда ожидаются неблагоприятные условия погоды. Это могут быть: 1) затраты, связанные с обоснованным простоем транспорта, 2) прекращение отдельных видов стационарных работ; 3) затраты на прямые меры защиты (ограждения, дамбы и т.п.); 4) затраты на поиск и осуществление новых маршрутов, трасс и др.; 5) специальные меры защиты (дождевание, обогрев в целях предупреждения заморозков) и другие.

Такого рода меры защиты стоимостью C осуществляются конкретным потребителем каждый раз, когда ожидаются опасные условия погоды.

Аналогичные затраты производятся и при использовании климатических (режимных) характеристик. Так, в строительном проектировании постоянно учитываются ветровые, термогигрометрические и другие нормативные данные, в основном представленные в СНиПах и составляющие известную стоимость. Затраты в этом случае носят разовый характер, а сам объект эксплуатируется многие годы.

В каждой отдельной области производства величины C и L сильно различаются и, конечно, меняются во времени: по сезонам и от года к году. Тем не менее, эти экономические параметры в основном отражают зависимость потребителя от метеорологических условий и выбор его *оптимального поведения*.

Дж. Томпсон предложил использовать отношение C/L в качестве важного показателя выбора оптимальной стратегии в альтернативной системе «затраты – убытки» (cost – loss) или, проще, отношение затрат к убыткам. При этом условлено считать, что применение защиты в размере C единиц стоимости *полностью предотвращает* прямые потери в L единиц стоимости. Наоборот, если меры защиты не принимались, а опасные условия погоды наблюдались, то размер материального ущерба в виде прямых потерь будет составлять L .

Отношение C/L можно рассматривать как характеристику потребителя, зависящего от метеорологических условий. Как будет показано дальше, выбор оптимальной погодо-хозяйственной стратегии, как и погодо-хозяйственного решения, определяется отношением затрат к убыткам (C/L).

Стоимость затрат на проведение защитных мероприятий C зависит от возможных потерь L и принятой данным потребителем технологии защиты. Может быть, что такая технология не столь дорога, но очень эффективна, и наоборот. Эту часть проблемы рассмотрим особо.

Размер непредотвращенных потерь зависит: от *интенсивности* атмосферного явления (степени его воздействия и продолжительности); «*чувствительности*» потребителя к неблагоприятной погоде; *масштабов* объекта и его стоимости, а также от ценности выполняемых производственных работ; *заблаговременности* предупреждений (прогнозов) и их успешности, *организации* и *эффективности* защитных мер и, наконец, от умения *оптимально планировать хозяйственную деятельность* с учетом ожидаемой погоды.

Предотвращение убытков по метеорологическим причинам требует не только предварительных затрат C . Меры защиты естествен-

но и разумно принимать в том случае, если поступила информация об ожидаемой неблагоприятной погоде или, более того, об опасных явлениях погоды. Прогностическая информация – краткосрочные прогнозы и прогнозы другой продолжительности – разрабатывается в прогностических подразделениях гидрометслужбы страны, а реализуется в области экономики, в различных отраслях народного хозяйства. Иначе говоря, прогностическая информация разрабатывается до того, как ей попасть в производство. Поэтому затраты на нее получили название *предпроизводственные* $Z_{пп}$.

В условиях становления рыночных отношений между поставщиком и потребителем метеорологической информации определилась новая проблема, которую можно сформулировать как *оценка стоимости прогностической информации*.

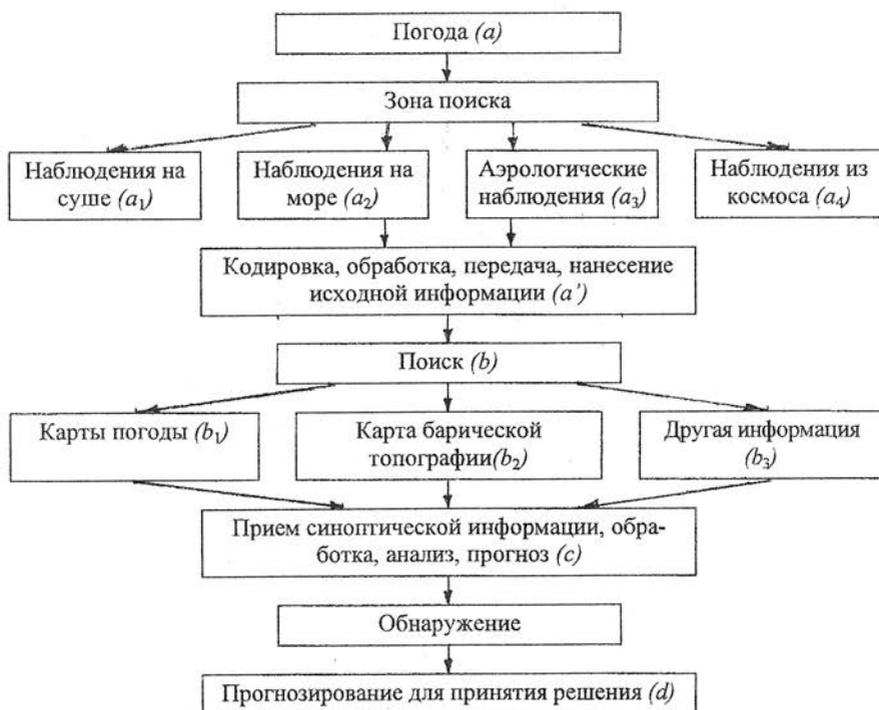


Рис. 1.3. Схема прохождения метеорологической информации от начала наблюдения до реализации ее потребителем.

Принципиальная схема метеорологической информации представлена на рис. 1.3 и может быть разделена на три блока. В первом блоке (*a*) сосредоточена исходная информация, характеризующая область поиска опасных условий погоды. Блок *b* содержит видоизменение первичной информации, необходимой в оперативной практике для решения прогностической задачи. Ее стоимость определяется затратами на обработку, передачу и нанесение данных наблюдений на карты погоды (вручную или машинным способом). Материалы этого блока позволяют вести четырехмерный синоптический анализ и выявление (поиск) опасных условий погоды. Стоимость прогностической информации, полученной на этом этапе, отражает затраты на текущие и амортизационные отчисления. Общая стоимость прогнозов за сутки определяется в виде суммы

$$B_{\text{пр}} = B_a + B_b + B_c, \quad (1.20)$$

где B_a – стоимость исходной информации (блоки *a*), B_b – стоимость переработки исходной информации (блоки *b*), B_c – стоимость оперативной разработки прогнозов (блоки *c*).

Некоторые результаты расчетов приведены в табл. 1.10, которая показывает, что наибольшие затраты при разработке прогнозов приходятся на штормовые предупреждения.

Таблица 1.10

Стоимость одного прогноза данного вида
в Санкт-Петербургском гидрометцентре

Прогноз	По данным СЗУГМС и РГТМУ		По данным ГГО на 1997 г. (тыс. руб.)
	на 1983 г. (руб.)	на 1997 г. (тыс. руб.)	
Предупреждения об ОЯ и СГМЯ	22	220	210
Специализированные прогнозы	14	140	157
Прогноз общего на- значения	7	70	105
Среднее	14	143	157

1.6. Функция полезности и форма ее представления

Потребитель – хозяйственный, социальный или иной объект – регламентирует свою деятельность в соответствии с текущими и ожидаемыми условиями погоды. В рассматриваемой системе погода –

прогноз – потребитель эффективное хозяйственное управление с метеорологических позиций достигается при адекватном знании последствий от тех или иных решений d при конкретной погоде Φ .

Представляется возможным установить функцию, которая определяет *выигрыш* или *потери* потребителя при различных сочетаниях погодо-хозяйственных решений d и последующей фактически наблюдавшейся погоды Φ . Такая функция, которая отражает при одном целевом назначении выигрыш, а при другом – потери, имеет обобщенное название *функции полезности*.

Функция полезности в общем виде записывается так:

$$U = U(\Phi, d_j), \quad (1.21)$$

где $d_j (j = \overline{1, m})$ – погодо-хозяйственные решения потребителя (хозяйственные альтернативы), образующие множество $\Omega_d = \{d\}$, или регламент поведения потребителя; Φ_i – фактическая погода.

Функция полезности приписывает всякому элементу набора (d, Φ) некоторую полезность как результат применения получаемой информации о погоде отдельным потребителем. Одна и та же прогностическая информация для разных потребителей может быть полезной в разной степени.

Таким образом, функция полезности отражает реакцию потребителя на ожидаемые условия погоды, состояние моря или иной области природной среды. Она замыкается на два вида информации: то, что известно потребителю о предстоящей погоде, и та хозяйственная оценка своего поведения, которая соответствовала бы этой погоде.

Заметим, полезность – понятие общее. Полезность не означает постоянно приносимый доход или только прибыль. Полезность следует рассматривать как меру достижения хозяйственной или социальной цели. Цель может достигаться или через изменения прибыльности (прямых доходов), или через изменение убыточности (потерь). Функция полезности, как видим, носит индивидуально производственную направленность. Полезность прогнозов в заданной области производства отражает лишь общую тенденцию потребителя – извлечь пользу (U), возможную вследствие удачного учета погоды (d).

Общность формулы (1.21) не раскрывает пути достижения полезности, что связано с конкретными условиями реализации прогнозов и измерением последствий решений d . В силу этого функция полезности может рассматриваться как функция, характеризующая или

приобретение полезности g (функция доходов), или потерю полезности s (функция потерь, ущерба), или то и другое вместе $r = s - g$ (функция расходов, платежная функция). Это позволяет разделить функцию полезности на три класса.

Первый – соответствует ситуации, когда потребитель, ориентируясь на прогнозы погоды, извлекает больший или меньший доход. Например, в случае использования прогнозов скорости ветра для подключения ветроэнергетических установок в региональную энергосистему. Другой пример: возможность использовать прогнозы сухой и безветренной погоды в целях повышения объема торфоразработок в открытых условиях.

Второй – когда потребитель, ориентируясь на ту или иную ожидаемую погоду, уменьшает возможные потери. Неблагоприятные условия погоды выступают уже как «метеорологические помехи», полное или частичное устранение которых требует разработки регламента защитных мер.

Третий – возможен в том случае, когда ориентация на ожидаемую погоду позволяет учесть как возможные доходы, так и потери.

Функция полезности наиболее полно рассматривается в теории статистических решений, изложенной во многих фундаментальных монографиях.

В метеоролого-экономических задачах используются в основном два последних класса функций полезности.

1.6.1. Функция потерь. Матрица потерь

Подавляющее большинство потребителей рассматривают погодные условия как внешний фактор, вызывающий потери. На этом основании функцию полезности следует рассматривать как *функцию потерь*, связанную с метеорологическими условиями:

$$s = s(d, \Phi). \quad (1.22)$$

В дальнейшем будем обращаться главным образом к функции потерь. Она может быть представлена аналитически, графически и дискретно – в матричной (табличной) форме. Табличная форма представления функций потерь называется *матрицей потерь* и широко используется в практических целях.

Разработка функции потерь может осуществляться следующим образом.

1. Возможна обработка набора статистических данных и графическое представление зависимости выбранного производственного показателя, например, от ошибок прогнозирования метеорологических величин и явлений погоды. Линия связи может быть выражена аналитически подходящей аппроксимацией.

2. Формальное выражение функции потерь может быть задано изначально. Причем аналитическая конструкция может включать не только ошибки прогнозирования, но и другие условия, определяющие поведение потерь. Такой подход требует производственных апробаций.

3. Функция потерь может быть выражена непосредственно в табличном виде, т.е. в виде матрицы потерь, элементы которой (s_{ij}) есть выражение последствий того, что потребитель ориентировался (d) на одну погоду (Φ), а была та или иная. Это практически доступный прием разработки функции потерь для любого хозяйственного потребителя. Такой табличный вид функции может быть проверен, дополнен и уточнен, если потребитель уже использует прогностическую информацию (Π).

В дальнейшем результативность поведения потребителя будем параметризовать исходя из начальных условий – набора пар (d, Π).

В соответствии с формулой (1.22) функцию потерь представим дискретно с элементами s_{ij} , образующими матрицу потерь (табл. 1.11)

Таблица 1.11

Многофазовая матрица потерь

Фактически наблюдалось Φ_i	Потребитель ориентируется (d_j) на возможную погоду (Φ) (по своему усмотрению) или на прогноз (Π), получаемый из прогностического подразделения		
	d_1	d_2	$d_3 \dots d_m$
Φ_1	s_{11}	s_{12}	$s_{13} \dots s_{1m}$
Φ_2	s_{21}	s_{22}	$s_{23} \dots s_{2m}$
Φ_3	s_{31}	s_{32}	$s_{33} \dots s_{3m}$
...
Φ_n	s_{n1}	s_{n2}	$s_{n3} \dots s_{nm}$

Матрица потерь размера $n \times m$ не обязательно квадратная, вполне возможно $n \neq m$.

Дадим краткий анализ матрицы потерь, представленной в общем виде (см. табл. 1.11). Степень дискретизации (число градаций, фаз) зависит от конкретного условия (состояния) погоды. Если используется

прогноз явления погоды, то очевидно $n = m = 2$. В случае прогноза метеорологических величин может быть $n = m \geq 2$ или $n \neq m > 2$.

Пусть Φ_i дано по мере роста опасного воздействия: от Φ_1 к Φ_n . В таком случае и d_j выстраивается в регламенте поведения потребителя от слабых мер защиты к более кардинальным ($d_1 \dots d_m$)

В такой ранжировке d_j и Φ_i элементы матрицы потерь отражают следующее: 1) по главной диагонали при $j = i$ (в начале принимается решение, затем следует погода) элементы $s_{ij} = s_{i=j}$ – есть потери, отвечающие удачным решениям потребителя; 2) при $j > i$ в правом верхнем углу потери s_{ij} – есть результат перестраховочных решений, т.е. напрасных затрат на предотвращение опасных условий, которые не осуществились; 3) при $j < i$ в левом нижнем углу потери s_{ij} есть результат пропусков неблагоприятных условий, что сопровождается прямыми потерями. Элементы s_{ij} в матрице потерь отражают средние значения реальных потерь, полученные в результате статистической обработки, проведенной потребителем. Потери s_{ij} принимаются положительными. Это означает, что потребитель несет потери по всей области решений d_j и реализаций погоды Φ_i .

В табл. 1.11 дана *многофазовая матрица потерь*, где Φ_i может быть скорость ветра, температура воздуха, высота низких облаков и др. Матрица потерь может быть представлена в более простом альтернативном (двухфазовом) виде, т.е. размерностью 2×2 . В этом случае она записывается так, как показано в табл. 1.12

Таблица 1.12

Альтернативная матрица потерь

Фактически наблюдалось Φ_i	Потребитель принимает решение d_j , ориентируясь на прогноз Π_j	
	$d(\Pi)$ принимаются меры защиты согласно тексту прогноза Π	$\bar{d}(\bar{\Pi})$ – работа выполняется по плану согласно тексту прогноза $\bar{\Pi}$
Φ	s_{11}	s_{12}
$\bar{\Phi}$	s_{21}	s_{22}

Альтернативная матрица потерь есть отражение использования альтернативного прогноза (см. табл. 1.4). Отсюда, как видим, легко интерпретируется соотношение ее отдельных элементов: s_{11} и s_{21} (затраты на предупредительные меры), s_{12} (прямые потери), $s_{22} \approx 0$.

Обращаем внимание, что здесь четыре элемента s_{ij} с обозначенными индексами несут иное содержание, чем элементы s_{ij} с аналогичными индексами в табл. 1.11.

Матрицу потерь, представленную в виде табл. 1.12, в дальнейшем будем записывать следующим образом:

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C & L \\ C & O \end{vmatrix}. \quad (1.23)$$

Для удобства ряда пояснений и выводов введем тождественные обозначения $s_{11} = s_{21} = C$, $s_{12} = L$.

Матрица потерь, как видим, включает в себя всего две отличные от нуля величины: $s_{12} = L$ (потери вследствие неблагоприятных условий погоды) и $s_{11} = C$, (затраты на защитные мероприятия), причем $(s_{11} = s_{21} = C) < (s_{12} = L)$.

Обратим внимание на два важных обстоятельства. *Первое* связано со сложностью построения матриц потерь даже самого простого вида (2×2). Это вызвано отсутствием достаточных сведений о конечных результатах, получаемых потребителем после реализации своих решений на основании ожидаемой погоды.

Второе обстоятельство касается возможностей потребителя противодействовать опасным, неблагоприятным условиям погоды, используя для этого различные меры защиты. Действительно, некоторые потребители обладают эффективными мерами защиты и практически полностью предотвращают возможные потери, другие — этими мерами защиты не обладают и несут потери, даже если меры защиты принимаются.

Можно допустить, что принимаемые потребителем в целях защиты меры стоимостью $s_{11} = s_{21} = C$ достаточно эффективны и полностью исключают потери по метеорологическим причинам в ситуации $d(\Pi) \sim \Phi$. Такие меры защиты называются *кардинальными*. Обратимся к выражению матрицы потерь (1.23). Элемент s_{11} матрицы потерь есть стоимость приведенных в действие мер защиты согласно решению d (применять меры защиты) и осуществившейся затем погоды Φ (явление наблюдалось). В этом случае кардинальность мер защиты позволяет полностью исключить потери от наблюдаемого явления (сильного ветра, грозы, гололеда и т.п.). Элемент s_{11} выражен в «чистом виде». Никаких дополнительных издержек при нем не отмечается.

В реальных условиях, как правило, меры защиты не являются кардинальными. Защитные свойства принимаемых мер носят *частичный характер*, т.е. потери предотвращаются частично. Это так называемые *некардинальные*, или *частичные*, меры защиты. Матрица потерь в этом случае выглядит так:

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & O \end{vmatrix}, \quad (1.24)$$

где ε – коэффициент непредотвращенных потерь.

1.6.2. Критерии оптимальности

Любое производственное решение или решение, принимаемое в иной области, всегда сопряжено с необходимостью достижения определенной цели. В производственных условиях целевой установкой всегда остается решение главной задачи – получить выгоду.

Пути достижения цели и, в частности, извлечения пользы могут быть разные. Руководителю, ответственному лицу может быть предложено несколько решений, обеспечивающих выгоду за счет использования метеорологической информации. Главная задача состоит в том, чтобы выбрать *оптимальное решение*. Тогда неизбежно возникает вопрос, что положить в основу такого выбора. Можно дать общий ответ: необходимо выбрать соответствующий *критерий сравнения*, что зависит от специфики хозяйственной деятельности потребителя.

В качестве такого рода *критериев оптимальности* могут быть использованы средние потери или средняя выгода, среднее время, затрачиваемое на производственную операцию, что также обеспечивает соответствующую выгоду или потери. Критерий может выражать сбережение ресурсов, снижение крупных потерь, стабилизацию урожайности и другие экономические показатели.

Используя прогностическую информацию, потребитель чаще всего стремится извлечь выгоду посредством снижения возможных потерь, вызванных неблагоприятной погодой. В этом случае в качестве критерия оптимальности выступают *средние (в статистическом смысле) потери* \bar{R} . В различных отраслях экономики широко практикуется оценка такого критерия, как средние потери, вызванные погодными условиями. В дальнейшем мы будем в основном обращаться к этому критерию. Естественная потребность – свести его к минимуму.

Приведенные показатели рассматриваются как *критерии оптимальности*, отражающие *функции цели*.

Как видим, универсальных критериев оптимальности решений нет. Следует к тому же заметить, что для одного и того же потребителя может быть приемлемым несколько критериев оптимальности в зависимости от специфики того или иного производственного процесса.

1.7. Выбор оптимальных решений. Байесовский подход

1.7.1. Оценка средних потерь

Для дискретных условий реализация прогнозов, используемых в хозяйственных целях, обычно выражена совокупностью совместных вероятностей $p(\Pi_j, \Phi_i) = p_{ij}$:

$$(p_{ij}) = \begin{array}{c|cc|c} & \Pi & \bar{\Pi} & \sum_j \\ \hline \Phi & p_{11} & p_{12} & p_{10} \\ \Phi & p_{21} & p_{22} & p_{20} \\ \hline \sum_i & p_{01} & p_{02} & 1 \end{array} \quad (1.25)$$

Матрицу потерь при кардинальных мерах защиты запишем так:

$$(s_{ij}) = \left\{ \begin{array}{c|cc} & d(\Pi) & d(\bar{\Pi}) \\ \hline \Phi & s_{11} & s_{12} \\ \Phi & s_{21} & s_{22} \\ \hline & & \end{array} \right\}_{\varepsilon=0} \quad (1.26)$$

Будем полагать далее, что потребитель доверяет прогнозам и в этом состоит его *стратегия* – *следовать рекомендациям прогнозистов*. Очевидно, что решения потребителя $d_j(d, \bar{d})$ будут приниматься с частотой, точно отвечающей совместной вероятности $p(\Pi, \Phi)$.

Тогда средние (в статистическом смысле) потери можно записать в виде

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s(d_j, \Phi_i) p(\Pi_j, \Phi_i) = \sum_{i,j}^{n,m} s_{ij} \cdot p_{ij} \quad (1.27)$$

Пример. Санкт-Петербургский морской торговый порт (СПб МТП) регулярно получает прогнозы скорости ветра. За осенне-зимние ме-

сяцы (октябрь – март) с 1988 по 1993 г. прогнозы скорости ветра обобщены в матрицах сопряженности, представленных в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Матрицы сопряженности альтернативных прогнозов скорости ветра (при $V_{\text{от}} \geq 18$ м/с). СПб МТП, 1988 – 1993 гг.

Методические прогнозы	Инерционные прогнозы
$\begin{vmatrix} 37 & 12 & 49 \\ 43 & 819 & 862 \\ 80 & 831 & 911 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 23 & 26 & 49 \\ 26 & 836 & 862 \\ 49 & 862 & 911 \end{vmatrix}$

Для данного потребителя была установлена матрица потерь, приведенная в табл. 1.14.

Таблица 1.14

Матрица потерь (тыс. руб.). СПб МТП

Фактически наблюдалось Φ_i	Потребитель принимает решение d_j , ориентируясь на погоду Π_j	
	$d(\Pi) (V \geq 18 \text{ м/с})$	$d(\bar{\Pi}) (V = 0-17 \text{ м/с})$
$\Phi (V \geq 18 \text{ м/с})$	123	165
$\bar{\Phi} (V = 0-17 \text{ м/с})$	59	0

Примечание Денежное исчисление (тыс. руб.) в 80-е годы.

Запишем матрицу потерь в денежном исчислении второй половины 90-х годов ($s_{ij}^* \times s_{ij} \cdot 10^4$)

$$s_{ij} = \begin{vmatrix} 1.23 & 1.65 \\ 0.59 & 0 \end{vmatrix} \text{ (млрд. руб./прогноз),}$$

а также для $\varepsilon = 0$

$$s_{ij} = \begin{vmatrix} 0.59 & 1.65 \\ 0.59 & 0 \end{vmatrix} \text{ (млрд. руб./прогноз).}$$

Если потребитель располагает информацией о последствиях своих действий $g(d, \Phi)$ или $s(d, \Phi)$, которые осуществлялись с учетом погоды, то ему остается только установить, с какой вероятностью (частотой) реализуется тот или иной исход, с тем чтобы перейти к оценке средних потерь. Это может быть выражено тождеством: $p\{s(d, \Phi)\} \equiv p(\Pi, \Phi)$.

Рассчитаем средние потери потребителя (СПб МТП) при использовании методических прогнозов скорости ветра

$$\bar{R}_M = \frac{1}{N}(S_{11}N_{11} + S_{21}N_{21} + S_{12}N_{12} + S_{22}N_{22}).$$

Отсюда

$$\bar{R}_M = \frac{1}{911}(0.59 \cdot 37 + 0.59 \cdot 43 + 1.65 \cdot 12) = 0.074 \text{ млрд. руб/прогноз.}$$

В случае использования инерционных прогнозов скорости ветра

$$\bar{R}_{\text{ин}} = \frac{1}{911}(0.59 \cdot 23 + 0.59 \cdot 26 + 1.65 \cdot 26) = 0.079 \text{ млрд. руб/прогноз.}$$

Если судить по средним потерям, то методическим прогнозам надо отдать предпочтение, хотя в данном случае и не очень заметное. Байесовский подход в оценке средних потерь обладает рядом преимуществ.

1. Важной особенностью подхода является достижение *инвариантности* результата. Оптимальная стратегия, обеспечивающая минимум потерь, в то же время обеспечивает и максимум выигрыша.

2. Второе преимущество состоит в том, что байесовские стратегии в отличие от минимаксных являются *чистыми*, т.е. заданной информации следует только одно действие.

3. Байесовский подход отличается еще и тем, что устанавливается *экстремум* не самих переменных, а их *функции*. Отсюда, в зависимости от целевой задачи, в качестве критерия оптимальности могут быть использованы средние потери (в вероятностном смысле), дисперсия потерь, минимум крупных потерь или задание вероятности потерь, не превышающей предельный уровень.

1.7.2. Оперативные решения потребителя

Решение потребителя d есть любое производственное действие, направленное на обязательный учет текущей и прогностической информации. В этом смысле решение потребителя не замыкается на узко хозяйственных аргументах, факторах, а выходит за их пределы – в область учета влияния погодных условий на хозяйственную деятельность. Такого рода решения назовем *погодо-хозяйственными*, т.е. решениями, обусловленными ожидаемой погодой.

Получив необходимую прогностическую информацию, потребитель ежедневно (или с иным интервалом времени) принимает оперативное решение о дальнейших действиях по выполнению производственных операций.

Если потребитель будет ориентироваться на опасные условия погоды, выполнение плана работы будет откорректировано или вообще прекращено. В случае возможности ориентироваться на благоприятную погоду – производственные мероприятия выполняются в соответствии с планом.

Естественно такого рода рекомендации может давать и синоптик. Задача заключается в том, чтобы свести к минимуму средние потери (или к максимуму выигрыш). При альтернативном прогнозе пространство (набор) предикторов разбивается на две области: A и \bar{A} . Если предиктор попадает в область A , то прогнозируется Φ (формулировка Π), если в область \bar{A} , то соответственно $\bar{\Phi}$ (формулировка $\bar{\Pi}$).

Средние потери (функция риска), определяемые выражением

$$\bar{R} = \int_A [-Lp_{10}p(\Pi/\Phi) + Cp_{20}p(\Pi/\bar{\Phi})] d\Pi + Lp_{10}, \quad (1.29)$$

должны быть минимальными, если удовлетворяется условие

$$Lp_{10}p(\Pi/\Phi) > Cp_{20}p(\Pi/\bar{\Phi}). \quad (1.30)$$

Другими словами, выбор области A в соответствии с (1.29) ведет к минимуму средних потерь. Отсюда следует байесовское правило:

$$1) \frac{p(\Pi/\Phi)}{p(\Pi/\bar{\Phi})} \geq \frac{Cp_{20}}{Lp_{10}} \quad (1.31)$$

– потребителю предлагается ориентироваться на текст Π , т.е. ожидать Φ (неблагоприятную погоду);

$$2) \frac{p(\Pi/\Phi)}{p(\Pi/\bar{\Phi})} < \frac{Cp_{20}}{Lp_{10}} \quad (1.32)$$

– потребителю рекомендуется ориентироваться на текст $\bar{\Pi}$, т.е. ожидать благоприятную погоду $\bar{\Phi}$.

Поскольку синоптик располагает апостериорными вероятностями ожидаемых фаз погоды, то потребителю предпочтительнее знать вероятности вида $p(\Phi/\Pi)$ и $p(\bar{\Phi}/\bar{\Pi})$.

Тогда можно записать следующие байесовские правила:

$$1) \frac{p(\Phi/\Pi)}{p(\bar{\Phi}/\bar{\Pi})} \geq \frac{C}{L} \quad (1.33)$$

– следует ориентироваться на неблагоприятную погоду Φ ;

$$2) \frac{p(\Phi / \Pi)}{p(\bar{\Phi} / \Pi)} < \frac{C}{L} \quad (1.34)$$

– следует ориентироваться на благоприятную погоду $\bar{\Phi}$;

Пример. Прогнозы гроз поступают в центральную диспетчерскую службы Мосэнерго. Анализ матриц сопряженности прогнозов гроз в Москве за летние сезоны (май – сентябрь) с 1976 по 1985 г. и с 1988 по 1994 г. позволяет установить для данного потребителя, характеризующегося отношением C/L , оптимальные решения. Потребитель допускает разработку оптимальных решений на основании статистических материалов, полученных *postfactum*.

Пусть $C/L = 0.3$. Обобщенные матрицы сопряженности прогнозов гроз приведены в табл. 1.15.

Таблица 1.15

Матрицы сопряженности прогнозов гроз в Москве, 1976 – 1985, 1988 – 1994 гг.

Методические прогнозы	Инерционные прогнозы
$\begin{vmatrix} 352 & 152 & 504 \\ 343 & 1754 & 2097 \\ 695 & 1906 & 2601 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 163 & 341 & 504 \\ 341 & 1756 & 2097 \\ 504 & 2097 & 2601 \end{vmatrix}$

Запишем матрицу сопряженности (см. табл.1.15) в вероятностной форме $[p(\Pi_j/\Phi_i) = n_{ij}/n_{i0}]$.

$\begin{vmatrix} 0.698 & 0.302 & 1.0 \\ 0.164 & 0.836 & 1.0 \end{vmatrix}_M$	$\begin{vmatrix} 0.323 & 0.677 & 1.0 \\ 0.163 & 0.837 & 1.0 \end{vmatrix}_{ин}$
--	---

Отсюда следует

$$\frac{p(\Pi / \Phi)}{p(\Pi / \bar{\Phi})} = \frac{0.698}{0.164} = 4.26; \quad \frac{Cp_{20}}{Lp_{10}} = 0.3 \cdot 4.16 = 1.25.$$

Как видим, выполняется правило 1:(4.26 > 1.25) – потребителю в соответствии с текстом Π методического прогноза (гроза ожидается) следует ориентироваться на возможность возникновения грозы на территории Москвы и принимать меры защиты электросистем города.

Используя данные инерционного прогноза получаем

$$p(\Pi/\Phi)/p(\Pi/\bar{\Phi}) = 1.98,$$

что также больше, чем 1.25, хотя и не столь заметно. Однако преимущество методического прогноза здесь очевидно на основании приведенного выше неравенства:

$$\frac{\left[\frac{p(\Pi/\Phi)}{p(\Pi/\bar{\Phi})} \right]_{\text{м}}}{\left[\frac{p(\Pi/\Phi)}{p(\Pi/\bar{\Phi})} \right]_{\text{ин}}} = 2.15.$$

Следуя байесовскому подходу оценки условных вероятностей $p(\Phi/\Pi)$ и $p(\bar{\Phi}/\Pi)$, выражаем соответствующим образом матрицы сопряженности

$$\begin{array}{|c|c|} \hline 0.506 & 0.080 \\ \hline 0.494 & 0.920 \\ \hline 1.000 & 1.000 \\ \hline \end{array} \Big|_{\text{м}} \qquad \begin{array}{|c|c|} \hline 0.323 & 0.163 \\ \hline 0.677 & 0.837 \\ \hline 1.000 & 1.000 \\ \hline \end{array} \Big|_{\text{ин}}$$

Находим соотношение

$$\frac{p(\Phi/\Pi)}{p(\bar{\Phi}/\Pi)} = \frac{0.506}{0.494} = 1.02; \quad 1.02 \gg (C/L = 0.3).$$

Согласно рекомендации синоптика, следует ожидать грозы и заблаговременно принимать меры защиты.

Инерционный прогноз показывает

$$p(\Phi/\Pi)/p(\bar{\Phi}/\Pi) = 0.323/0.677 = [0.477 > 0.3],$$

однако здесь это подтверждение неубедительно.

Преимущество методического прогноза относительно инерционного подтверждается и сопоставлением *отношений правдоподобия*, а именно:

$$\left[\frac{p(\Pi/\Phi)}{p(\Pi)} \right]_{\text{м}} = \frac{352/504}{695/2601} = 2.61; \quad \left[\frac{p(\Pi/\Phi)}{p(\Pi)} \right]_{\text{ин}} = \frac{163/504}{504/2601} = 1.67.$$

1.7.3. Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии при кардинальных мерах защиты

Решения, принимаемые потребителями, носят сугубо индивидуальный характер, что обусловлено спецификой хозяйственной деятельности, которая отражена в матрицах потерь. Это означает, что

при одной и той же прогностической информации каждый потребитель будет принимать свое погодо-хозяйственное решение. Рассмотрим эту задачу применительно к конкретному потребителю. Для ее решения необходимо иметь два вида информации: прогнозы, представленные матрицей сопряженности $\|p_{ij}\|$, и матрицу потерь $\|s_{ij}\|$ как выражение последствий принимаемых потребителем решений d при кардинальных мерах защиты ($\varepsilon = 0$). Здесь следует несколько возвратиться к сказанному ранее. Потребитель постоянно использует прогнозы с позиций, не имеющих никакого отношения к их оптимальному использованию. Такого рода доверие прогнозам может диктоваться договорными условиями, рекламой или быть чисто интуитивным. Из многочисленных повседневных решений часть может оказаться оптимальной, другая – далеко не оптимальной. Такое поведение потребителя следует рассматривать как неапробированное, не получившее научного одобрения.

С позиций средних (байесовских) потерь \bar{R} под *оптимальными* будем понимать такие решения, которые обеспечивают потребителю *минимум средних потерь*.

Это может быть достигнуто, если следовать байесовским правилам (см. п. 1.7.2), или несколько иным путем, что будет рассмотрено ниже.

Совокупность решений потребителя выстраивает определенную линию его отношения к прогностической информации, т.е. формируется его *производственная стратегия*.

Если решение есть однократное поведение, то стратегия – некоторое принципиальное отношение к прогнозам, рассчитанное на многие годы. Если принцип его поведения основан на оптимальных решениях, то и стратегия будет оптимальной. Таким образом, *оптимальной стратегией* $S_{\text{опт}}$ называется такая, которая при известном наборе фаз погоды и принимаемых решений обеспечивает потребителю *минимум потерь* или *максимум выгоды* за счет учета погодных условий в течение всего периода использования прогнозов.

Отсюда следует, что оптимальная стратегия потребителя есть *научно обоснованная система* выбора постоянно принимаемых ежедневных оптимальных решений.

В зависимости от поступающей метеорологической информации и возможностей ее реализации потребителями стратегии под-

разделяют на *чистые* и *смешанные*. Стратегия называется *чистой*, если конкретной ожидаемой погоде всегда соответствует одно и то же действие потребителя. Если ожидаемая погода требует набора решений, такая стратегия называется *смешанной*. Потребитель может постоянно ориентироваться на одну из климатических повторяемости опасного для него явления $p(\Phi)$. Это *недифференцированная стратегия*. Если потребитель будет ориентироваться на тексты прогнозов, из которых каждый имеет несколько реализаций $p(d_j, \Phi_j)$, то тем самым используются *дифференцированные стратегии*.

Рассмотрим выбор оптимальной дифференцированной стратегии. Воспользуемся сначала более простой схемой, поскольку для большинства потребителей типичным является регламент погодохозяйственных решений Ω_d , содержащий только два вида решений: «защитные меры применять», «защитные меры не применять».

Матрицу сопряженности $\|n_{ij}\|$ или $\|p_{ij}\|$ преобразуем в матрицу условных вероятностей $\|q_{ij}\| = \|p(\Phi_i / \Pi_j)\|$. Частота реализуемых решений d соответствует условным вероятностям $q(d_j, \Phi_i)$, что и отражено в матрице условных вероятностей $\|q_{ij}\|$ (табл. 1.16)

Таблица 1.16

Матрицы потерь и условных реализаций решений потребителя

Матрица потерь			Матрица условных вероятностей		
	$d(\Pi)$	$d(\bar{\Pi})$		Π	$\bar{\Pi}$
Φ	s_{11}	s_{12}	Φ	q_{11}	q_{12}
$\bar{\Phi}$	s_{21}	s_{22}	$\bar{\Phi}$	q_{21}	q_{22}
			\sum_i	1	1

Информация, представленная в табл. 1.16, достаточна для разработки *метода выбора оптимальных решений и оптимальной стратегии* учета ожидаемой погоды при альтернативных прогнозах и кардинальных мерах защиты ($\varepsilon=0$). *Заметим*: рассматривается конкретный потребитель и конкретный вид прогнозов (гроза, туман, опасная скорость ветра, снегопад или комплекс погодных условий, например «минимум погоды»).

Получив текст прогноза Π (явление ожидается), потребитель вправе выбрать одно из двух решений, причем каждое инициирует определенные хозяйственные действия.

Пусть тексту прогноза Π оказано доверие, а следовательно приняты меры защиты $d(\Pi)$. Тогда средние потери при условии $(d/\Pi_j)=(d/\Pi)$ составят величину

$$\bar{R}_{11} = \bar{R}(d/\Pi) = \sum_{i=1}^{n=2} s_{i1}q_{i1} = s_{11}q_{11} + s_{21}q_{21}; \quad (1.35)$$

соответственно в случае недоверия тексту Π

$$\bar{R}_{21} = \bar{R}(\bar{d}/\Pi) = \sum_{i=1}^{n=2} s_{i2}q_{i1} = s_{12}q_{11} + s_{22}q_{21}. \quad (1.36)$$

Потребитель может получить текст прогноза $\bar{\Pi}$. Если он будет действовать вопреки рекомендациям синоптика и готовиться к защитным мероприятиям, то его средние потери в итоге будут равны

$$\bar{R}_{12} = \bar{R}(d/\bar{\Pi}) = \sum_{i=1}^{n=2} s_{i1}q_{i2} = s_{11}q_{12} + s_{21}q_{22}, \quad (1.37)$$

а в случае доверия тексту $\bar{\Pi}$

$$\bar{R}_{22} = \bar{R}(\bar{d}/\bar{\Pi}) = \sum_{i=1}^{n=2} s_{i2}q_{i2} = s_{12}q_{12} + s_{22}q_{22}. \quad (1.38)$$

Средние потери, представленные формулами (1.35) – (1.38), являются условными (или систематическими), могут быть обобщены формулой

$$\bar{R}_{kj} = \sum_{k=1}^{n=m} s_{ik}q_{ij}, \quad (1.39)$$

где k – порядковый номер решения потребителя.

Некоторое пояснение к терминологии. Средние потери \bar{R}_{kj} являются условными в том смысле, что их расчет ведется на основании условных вероятностей реализации прогнозов q_{ij} . Сам факт средних потерь, как и получаемые абсолютные их значения, – безусловны. Термин «систематические» подчеркивает, что такого рода потери будут всегда при заданном тексте прогноза Π_j и выбранном решении d_k .

Средние потери \bar{R}_{kj} представим матрицей вида

$$\left(\bar{R}_{kj} \right) = \begin{array}{c|cc} & \Pi & \bar{\Pi} \\ \hline d(\Pi) & \bar{R}_{11} & \bar{R}_{12} \\ \hline \bar{d}(\bar{\Pi}) & \bar{R}_{21} & \bar{R}_{22} \end{array} \quad (1.40)$$

Н.А. Багров называет это обобщение «матрицей полных потерь».

Анализ матрицы потерь вида (1.40) позволяет установить следующие правила:

$$\bar{R}_{11} < \bar{R}_{12} \quad (1.41)$$

– следует принимать решение $d(\Pi)$, т.е. ориентироваться на текст прогноза Π и готовить защитные мероприятия;

$$\bar{R}_{22} < \bar{R}_{21} \quad (1.42)$$

– следует принимать решения $\bar{d}(\bar{\Pi})$, т.е. ориентироваться на текст прогноза $\bar{\Pi}$ и работать по плану.

Приведенные правила (1.41) и (1.42) также относятся к байесовскому типу. Их использование будет эффективным, если вероятности $p(\Pi, \Phi)$ или $q(\Phi/\Pi)$ достаточно стабильны во времени и статистически обеспечены по объему выборки.

Выполнение неравенств (1.41) и (1.42) говорит о том, что стратегия доверия прогнозам $d(\Pi)$ и $\bar{d}(\bar{\Pi})$ допустима в соответствии с ожидаемой погодой ($\Pi, \bar{\Pi}$). Средние потери при использовании методических прогнозов будут равны

$$\bar{R}_M = \sum_{j=1}^m p_{0j} \bar{R}_{k(\text{мин})}(\Pi_j). \quad (1.43)$$

Формулу (1.43) для альтернативных прогнозов (см. табл.1.4 и 1.16) можно записать

$$\begin{aligned} \bar{R}_M &= p_{01} \bar{R}_{11} + p_{02} \bar{R}_{22} = \\ &= \frac{n_{01}}{N} \left(s_{11} \frac{n_{11}}{n_{01}} + s_{21} \frac{n_{21}}{n_{01}} \right) + \frac{n_{02}}{N} \left(s_{12} \frac{n_{12}}{n_{02}} + s_{22} \frac{n_{22}}{n_{02}} \right) = \\ &= s_{11} p_{11} + s_{21} p_{21} + s_{12} p_{12} + s_{22} p_{22} = \sum_{i,j}^{n,m} s_{ij} p_{ij}. \end{aligned} \quad (1.44)$$

Это еще раз подтверждает байесовскую оценку средних потерь, что отмечалось в п.1.7.1, и возможность использовать стратегию доверия методическим прогнозам (\mathcal{S}_M). Если допускать непробированную стратегию доверия, то средние потери будут определяться следующим образом:

$$\bar{R}_M = \sum_{j=1}^m p_{0j} \bar{R}_{k=j}(\Pi_j). \quad (1.45)$$

Аналогично формуле (1.44) устанавливается значение средних потерь в случае, если потребитель использовал инерционные прогнозы

$$\bar{R}_{ин} = \sum_{j=1}^{n,m} s_{ij} p_{ij}^{ин}. \quad (1.46)$$

Это будет *стратегия ориентации на исходную погоду* ($\mathcal{S}_{ин}$). Допустим далее несколько упрощенное, но возможное условие: потребитель постоянно ориентируется на одну и ту же фазу погоды – Φ (явление ожидается). Это значит, что он всегда будет принимать меры защиты (s_{11} , s_{21}). В этом случае средние потери будут определяться с учетом *климатических вероятностей* (p_{10} , p_{20})

$$\bar{R}_{кл1} = \sum_i^n p_{i0} s_{ij}(d, \Pi) = s_{11} p_{10} + s_{21} p_{20}. \quad (1.47)$$

Возможен противоположный формальный подход – потребитель постоянно ориентируется на благоприятную погоду $\bar{\Phi}$ (явление не ожидается) и никогда не применяет мер защиты. Тем самым он подвергает себя опасности прямых потерь в тех случаях, когда возникают неблагоприятные условия погоды. Тогда средние потери будут равны

$$\bar{R}_{кл2} = \sum_i^n p_{i0} s_{ij}(\bar{d}, \bar{\Pi}) = s_{12} p_{10} + s_{22} p_{20}. \quad (1.48)$$

Допускается, что $s_{22} = 0$, тогда

$$\bar{R}_{кл2} = s_{12} p_{10}. \quad (1.49)$$

Формулы (1.47) и (1.48) отражают средние потери как результат климатологических стратегий $\mathcal{S}_{кл1}$ – *стратегия постоянной защиты* – и $\mathcal{S}_{кл2}$ – *стратегия постоянного риска*.

Если допустить случайный выбор текста прогноза $\mathcal{S}_{\text{сл}}$, то средние потери при такой стратегии определяются по формуле

$$\bar{R}_{\text{сл}} = \sum_{i,j}^{n,m} s_{ij} P_{ij}^{\text{сл}}. \quad (1.50)$$

Из пяти возможных стратегий ($\mathcal{S}_m, \mathcal{S}_{\text{ин}}, \mathcal{S}_{\text{кл1}}, \mathcal{S}_{\text{кл2}}, \mathcal{S}_{\text{сл}}$) потребитель выбирает ту, которая обеспечивает минимум потерь.

Эта процедура и есть *минимизация средних потерь*, или *минимизация функции риска*. Тем самым устанавливается оптимальная стратегия, формализуемая *стратегическим правилом*:

$$\left\{ \bar{R}_{\text{опт}} = \min_{\langle \mathcal{S} \rangle} \bar{R} \right\}_{\varepsilon=0} \Rightarrow \mathcal{S}_{\text{опт}}. \quad (1.51)$$

В большинстве случаев выполняется неравенство

$$\left\{ \bar{R}_m < \bar{R}_{\text{ин}} < \bar{R}_{\text{кл}} \right\}_{\varepsilon=0} \Rightarrow \mathcal{S}_{m(\text{опт})}. \quad (1.52)$$

Пример. Строительные организации с разветвленной сетью производственных объектов г. Новгорода имеют матрицу потерь вида

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} 270 & 600 \\ 270 & 0 \end{vmatrix}_{\varepsilon=0}, \text{ млн. руб./прогноз.}$$

За холодные периоды (сентябрь – март) 1989 – 1993 гг. по Новгороду и пригородной зоне установлены следующие матрицы сопряженности прогнозов скорости ветра, используемые данным потребителем при пороговом (штормовом) значении $V \geq 15$ м/с:

Методические прогнозы

$$\begin{vmatrix} 125 & 31 & 156 \\ 54 & 564 & 618 \\ 179 & 595 & 774 \end{vmatrix}$$

Инерционные прогнозы

$$\begin{vmatrix} 68 & 88 & 156 \\ 88 & 530 & 618 \\ 156 & 618 & 774 \end{vmatrix}$$

Получив прогноз, в котором указывается на возможность увеличения скорости ветра до 15 м/с и более, потребитель (диспетчерская или другая служба) принимает решение оповестить все объекты на обширных подведомственных территориях о необходимости принять *меры защиты* на строительных площадках, подъездных дорогах и иных объектах. Их общая стоимость ($s_{11} = s_{21}$) по одному прогнозу достигает 270

млн. рублей. В случае пропуска явления или отказа от мер защиты прямые потери по всем объектам региона составляют 600 млн. руб.

Оценка средних потерь \bar{R} за прошедшие годы показывает следующее. При использовании оперативных методических прогнозов средние потери равны

$$\bar{R}_m = \frac{1}{774} (270 \cdot 125 + 270 \cdot 54 + 600 \cdot 31) = 86.47 \text{ млн. руб./прогноз.}$$

В случае использования инерционных прогнозов

$$\bar{R}_{ин} = \frac{1}{774} (270 \cdot 68 + 270 \cdot 88 + 600 \cdot 88) = 122.64 \text{ млн. руб./прогноз.}$$

Формальная реализация прогнозов показывает, что ориентация на постоянную защиту вызывает средние потери, связанные с расходами на защитные меры, что в среднем составляет

$$\bar{R}_{кп1} = 270 \frac{156}{774} + 270 \frac{618}{774} = 270 \text{ млн. руб./прогноз.}$$

Прямые потери в случае постоянной ориентации на благоприятную погоду выражают следующее значение средних потерь:

$$\bar{R}_{кп2} = 600 \frac{156}{774} = 120.9 \text{ млн. руб./прогноз.}$$

Использование случайных прогнозов дает следующее значение средних потерь:

$$\begin{aligned} \bar{R}_{сл} &= \frac{1}{774} \left[270 \cdot \frac{156 \cdot 179}{774} + 270 \cdot \frac{618 \cdot 179}{774} + 600 \cdot \frac{156 \cdot 595}{774} \right] = \\ &= 155.41 \text{ млн. руб./прогноз.} \end{aligned}$$

Как видим, легко установить, что оценка средних потерь позволяет данному потребителю ориентироваться в хозяйственной практике на оперативные методические прогнозы ($\bar{R}_m = 86.47$ млн. руб./прогноз). Они должны рассматриваться потребителем как *доверительная прогностическая информация* и составлять основу его *оптимальной* погодо-хозяйственной стратегии.

1.7.4. Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии при частичных (некардинальных) мерах защиты

Как уже отмечалось, при кардинальных мерах защиты (стоимостью $s_{11} = s_{21} = C$) в ситуации $d(II) \sim \Phi$, когда опасное явление (ус-

ловие погоды) действительно наблюдалось, прямые потери $s_{12} = L$ полностью предотвращаются. Считается, что меры защиты в высшей степени эффективны, если $\varepsilon = 0$ или $1 - \varepsilon = 1$.

В реальной практике, как правило, потребители не располагают столь кардинальной технологией и организацией, обеспечивающей исключение прямых потерь в случае $d(\Pi) \sim \Phi$. Защитные меры (средства) от неблагоприятной погоды не являются идеальными и всеобъемлющими. Они носят такой характер, что прямые потери предотвращаются лишь частично. В этом и состоит суть понятия «частичные меры защиты» – потребитель располагает лишь некардинальными мерами защиты, а значит не может полностью предотвратить прямые потери, если непогода Φ наступила. Это означает, что потребитель не частично защищается, а что его защитные меры могут только частично предотвратить потери.

Вернемся к матрице потерь при частичных мерах защиты

$$s(d, \Phi) = \left\{ \begin{array}{c|cc} & d(\Pi) & d(\overline{\Pi}) \\ \hline \Phi & s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ \overline{\Phi} & s_{21} & s_{22} \end{array} \right\}_{\varepsilon > 0} = \begin{vmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & 0 \end{vmatrix}_{\varepsilon > 0}. \quad (1.53)$$

При наступлении неблагоприятной погоды Φ , предусмотренной прогнозом Π , потребитель в силу частичных мер защиты будет нести прямые потери $\varepsilon s_{12} = \varepsilon L$.

Согласно предложенной классификации (см. п. 1.5), потери εs_{12} называются непредотвращенными. Показатель непредотвращенных потерь ε меняется в пределах $[0; 1]$.

Если $\varepsilon = 0$, непредотвращенных потерь нет, все возможные потери предотвращены ($\varepsilon L = 0$).

Если $0 < \varepsilon < 1$, то прямые потери предотвращаются частично ($\varepsilon L > 0$).

Если $\varepsilon = 1$, меры защиты не принимаются вовсе, а значит потери не предотвращаются ($\varepsilon L = L$).

Величина ε определяется из очевидного соотношения $\varepsilon s_{12} / s_{12}$ элементов матрицы (1.53).

Будем полагать, что потребителем в данной области производства отработана система слежения и контроля за последствиями

опасной для производства погоды. Тогда величина $\varepsilon s_{12} = \varepsilon L$ будет известна. Это позволяет найти функцию потерь, совершенствовать меры защиты и в то же время повышать требования к прогностической информации.

Итак, вид функции потерь потребителя может существенно меняться в соответствии с областью изменения $\varepsilon [0; 1]$:

$$\left| \begin{array}{cc|c} s_{11} & s_{12} & \dots \\ s_{21} & s_{22} & \dots \end{array} \right|_{\varepsilon=0} \left| \begin{array}{cc|c} s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} & \dots \\ s_{21} & s_{22} & \dots \end{array} \right|_{\varepsilon>0} \left| \begin{array}{cc|c} s_{11} + s_{12} & s_{12} & \dots \\ s_{21} & s_{22} & \dots \end{array} \right|_{\varepsilon=1} \quad (1.54)$$

Отсюда средние потери определяются так:

$$\bar{R} = \frac{1}{N} [n_{11}(s_{11} + \varepsilon s_{12}) + n_{21}s_{21} + n_{22}s_{22}]. \quad (1.55)$$

Аналогичным образом устанавливаются средние потери при использовании стандартных прогнозов $[\bar{R}_{ст} = (\bar{R}_{ин}, \bar{R}_{кл}, R_{сл})]$.

Значение ε зависит не только от хозяйственной специфики потребителя – его технологических и технических возможностей противостоять опасной погоде, – но и от региональных особенностей синоптических процессов, вызывающих неблагоприятные условия погоды. В табл. 1.17 мы приводим значения ε по некоторым морским портам, полученные в результате исследований.

Таблица 1.17

Значения коэффициента непредотвращенных потерь ε	
Порт	ε
Санкт-Петербург	0.30
Клайпеда	0.09
Рига	0.17
Владивосток	0.29
Среднее	0.21

В первом приближении для практических оценок можно использовать $\varepsilon = 0.21$.

Для различных потребителей $\left(\frac{C}{L} = \frac{s_{11} = s_{21}}{s_{12}} \right)$ можно рассчитать набор возможных матриц потерь в случае привлечения дихотомических признаков в разработке прогноза и при соответствующем двухфазовом регламенте потребителя (табл. 1.18).

Матрицы потерь $\|s_{ij}\|$ при $s_{12} = L = 100$

ε	C/L					L=100				
	0.05		0.2		0.4		0.6		0.8	
0	5	100	20	100	40	100	60	100	80	100
	5	0	20	0	40	0	60	0	80	0
0.25	30	100	45	100	65	100	85	100	105	100
	5	0	20	0	40	0	60	0	80	0
0.50	55	100	70	100	90	100	110	100	130	100
	5	0	20	0	40	0	60	0	80	0
0.75	80	100	95	100	115	100	135	100	155	100
	5	0	20	0	40	0	60	0	80	0
1.00	105	100	120	100	140	100	160	100	180	100
	5	0	20	0	40	0	60	0	80	0

Пример. Потребители (C/L) используют прогнозы скорости ветра для Пскова. Результаты прогнозирования обобщены в виде альтернативных матриц сопряженности (при $V_{шт} \geq 15\text{м/с}$) за период с 1992 по 1994 г. (октябрь – март) при условии $p_{10} = 0.104$ и представлены следующим образом:

Методические прогнозы

39	14	53
56	423	479
95	437	532

Инерционные прогнозы

21	32	53
32	447	479
53	479	532

С большим основанием можно полагать, что в синоптической практике возможны отклонения приведенного здесь распределения n_{ij} . Это особенно касается ошибок пропусков (n_{12}) и ошибок страховок (n_{21}). Учитывая возможности метода прогнозирования скорости ветра по Северо-Западу европейской территории России (ЕТР) и изменения сложности синоптических процессов, мы можем допустить, что определенным образом будет меняться частота ошибочных прогнозов. Примем два крайних условия: первый вариант – ошибки первого и второго рода (n_{12} , n_{21}) снижаются на 75 % от исходного распределения, второй вариант – ошибочные прогнозы с частотой n_{12} , n_{21} в силу сложившихся синоптических процессов растут на 75 %. В итоге получаем три возможных варианта матриц сопряженности метеорологических прогнозов скорости ветра, отвечающей заданному значению ошибки (δ):

Методические прогнозы

Инерционные прогнозы

при $\delta(n_{12}, n_{21}) = -0.75$

$$\begin{vmatrix} 50 & 3 & 53 \\ 14 & 465 & 479 \\ 64 & 468 & 532 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 21 & 32 & 53 \\ 32 & 447 & 479 \\ 53 & 479 & 532 \end{vmatrix}$$

при $\delta(n_{12}, n_{21}) = 0$

$$\begin{vmatrix} 39 & 14 & 53 \\ 56 & 423 & 479 \\ 95 & 437 & 532 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 21 & 32 & 53 \\ 32 & 447 & 479 \\ 53 & 479 & 532 \end{vmatrix}$$

при $\delta(n_{12}, n_{21}) = 0.75$

$$\begin{vmatrix} 28 & 25 & 53 \\ 98 & 381 & 479 \\ 126 & 406 & 532 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 21 & 32 & 53 \\ 32 & 447 & 479 \\ 53 & 479 & 532 \end{vmatrix}$$

Инерционные прогнозы не подвержены такого рода ошибочности, и распределение $(n_{ij})_{ин}$ сохраняется постоянным.

Необходимо установить возможность выбора оптимального решения конкретным потребителем, использующим прогнозы скорости ветра в пределах Пскова и его окрестностей.

Здесь возможны следующие подходы в решении поставленной задачи.

1. Будем полагать, что известны все потребители C/L в пределах изменения $[0; 1]$. Матрицы потерь этих потребителей могут быть рассчитаны при разных ε (см. табл. 1.18).

Рассчитаем средние потери \bar{R}_m для дискретных значений C/L при меняющихся условиях реализуемой прогностической информации ($\varepsilon = 0; 0.5; 0.75$ и $\delta = -0.75; 0; 0.75$).

В качестве стандартного (тривиального) прогноза будем рассматривать инерционный прогноз.

Результаты расчетов приведены на рис. 1.4. а–в Представленные семейства \bar{R} изолиниями $\bar{R} = f(C/L, \delta)$ при $\varepsilon = \text{const}$ позволяют установить для конкретного потребителя

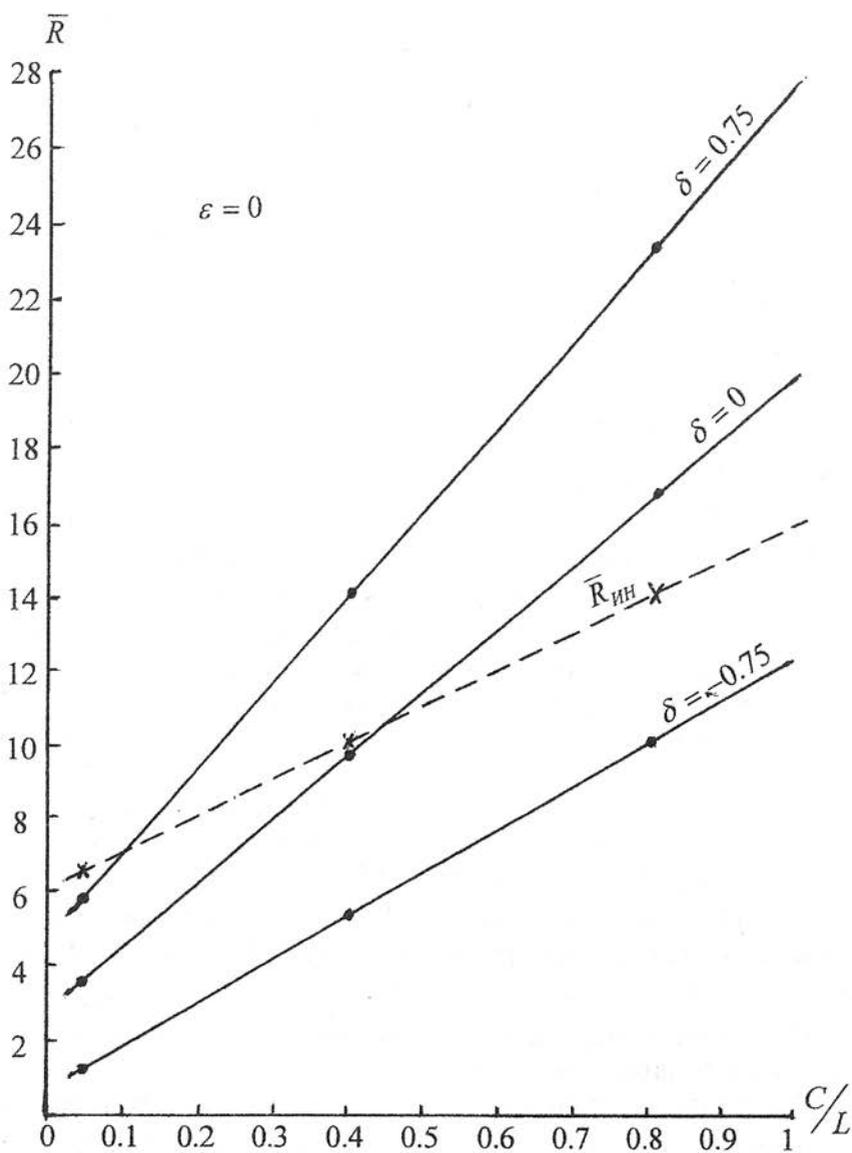


Рис. 1.4а. Средние потери ($R_M, R_{инн}$) потребителей ($C/L, \varepsilon$) при различной ошибочности δ прогнозов скорости ветра для $\varepsilon = 0$. Псков, 1992 – 1994 гг. (октябрь – март).

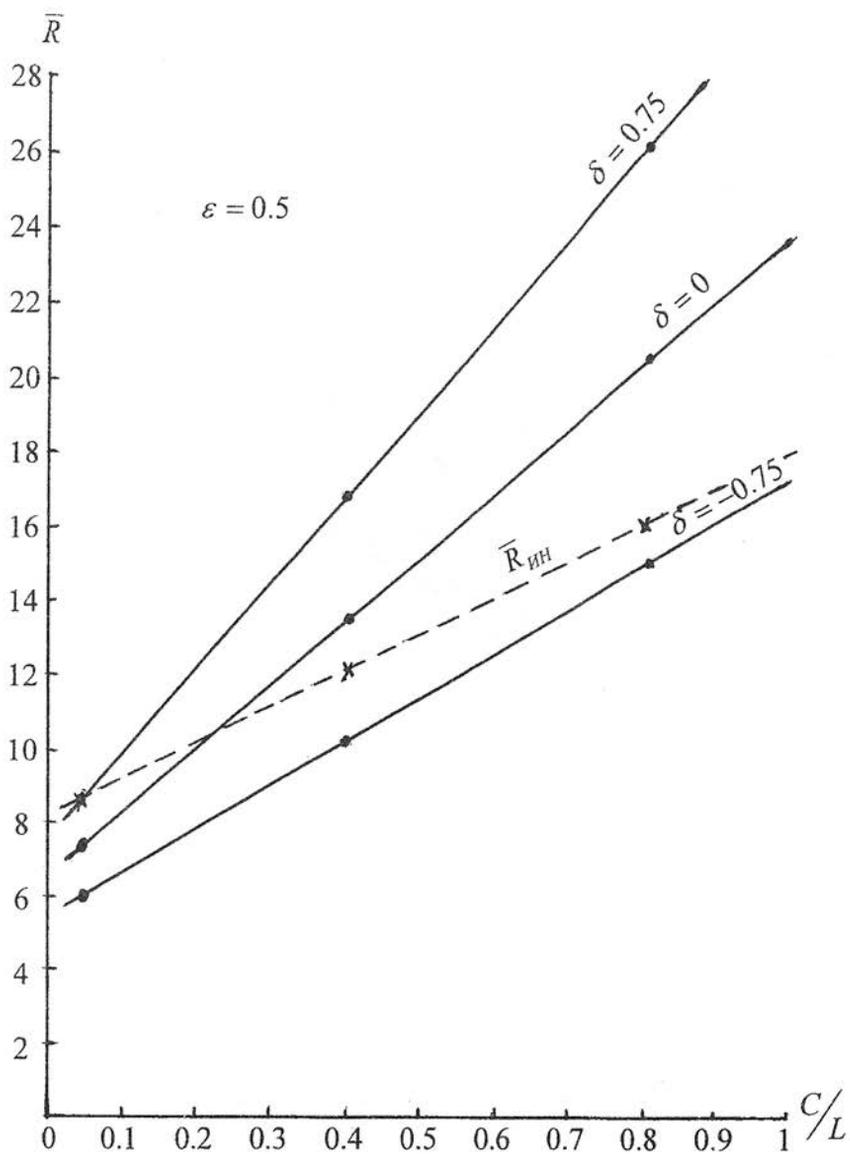


Рис. 1.46. Средние потери ($R_M, R_{ин}$) потребителей ($C/L, \varepsilon$) при различной ошибочности δ прогнозов скорости ветра для $\varepsilon = 0.5$. Псков, 1992 – 1994 гг. (октябрь – март).

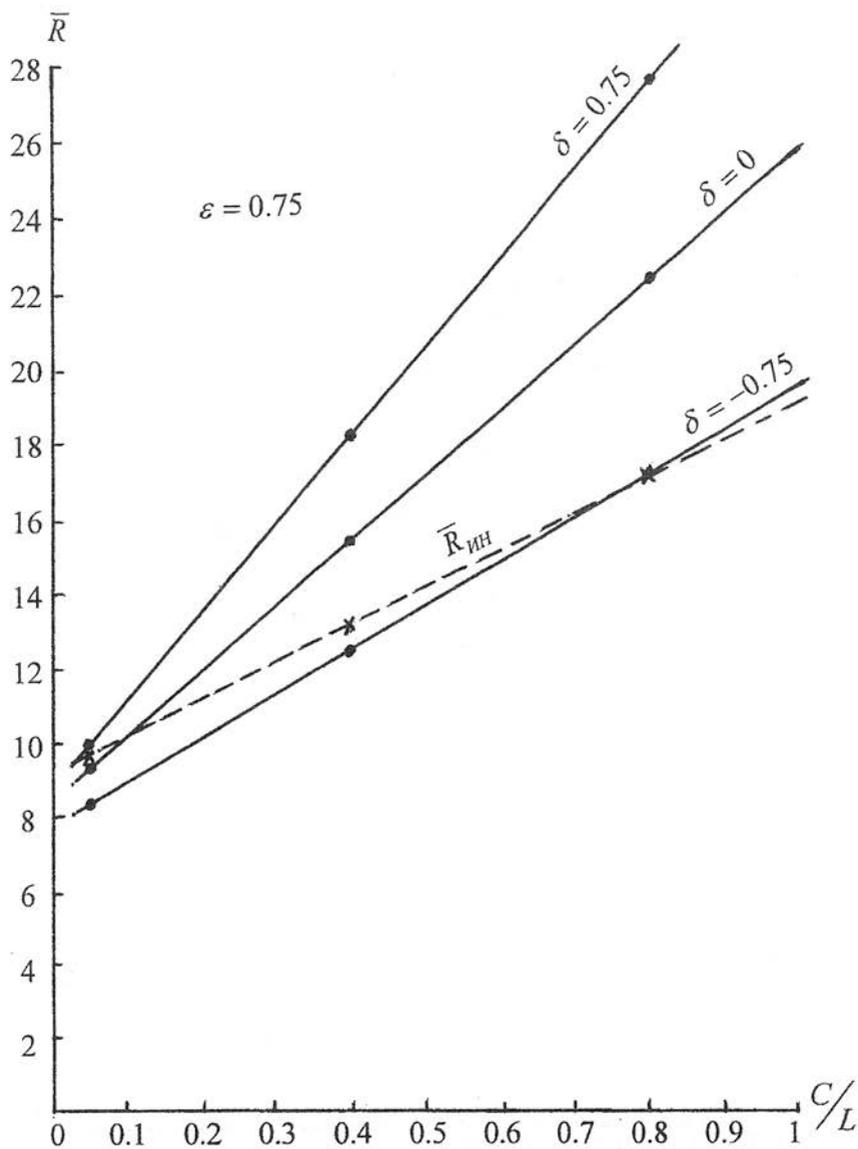


Рис. 1.4в. Средние потери ($R_M, R_{ин}$) потребителей ($C/L, \varepsilon$) при различной ошибочности δ прогнозов скорости ветра для $\varepsilon = 0.75$. Псков, 1992 – 1994 гг. (октябрь – март).

$$s_{ij}(C/L)_{\varepsilon>0} = \begin{vmatrix} s_{11} + \varepsilon s_{12} & s_{12} \\ s_{21} & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C + \varepsilon L & L \\ C & 0 \end{vmatrix} \quad (1.56)$$

преимущество методических прогнозов относительно инерционных. Это в основном может касаться обобщения текущих прогнозов $\|n_{ij}\|$ при условии $\delta(n_{12}, n_{21}) = 0$. Проследим в этом варианте возможности выбора потребителем той или иной стратегии, если существуют хозяйственные механизмы совершенствования защитных мер ($\varepsilon = 0.75 \Rightarrow \varepsilon = 0$).

1.1. Совершенно очевидно (см. рис. 1.4), что с увеличением ε – снижением технологических и организационных возможностей защиты – быстро сужается область потребителей, для которых *методические прогнозы* могут быть использованы *оптимально*.

Так, при кардинальных мерах защиты ($\varepsilon = 0$) методические прогнозы ($\delta = 0$) экономически предпочтительнее инерционных для ряда потребителей, характеризующихся отношением $C/L \leq 0.45$.

В случае $\varepsilon = 0.5$ ряд потребителей, оптимально использующих методические прогнозы, заметно уменьшается до $C/L \leq 0.2$, а при $\varepsilon = 0.75$ до $C/L \leq 0.1$

Средние потери \bar{R}_m для крайних потребителей выстраиваются так:

C/L	0.45	0.2	0.1
\bar{R}_m	10.4	10.0	10.0

Однако для конкретного потребителя (C/L) характер поведения средних потерь заметно иной. Например, для потребителя $C/L = 0.4$ обнаруживается следующее:

ε	0	0.5	0.75
\bar{R}_m	9.8	13.5	15.4

Отсюда вытекает: повышение эффективности защитных мер на 25 % (от $\varepsilon = 0.75$ к $\varepsilon = 0.5$) снижает средние потери на 1.9 (единиц стоимости), т.е. примерно на 12 %, а при последующем совершенствовании мер защиты примерно на 50 % средние потери снижаются на 3.7, т.е. почти на 27 %.

1.2. Выбор оптимальных погодо-хозяйственных решений и, как следствие, оптимальной стратегии предполагает возможность повышения качества метеорологических прогнозов, Это одно из главных договорных условий поставщика и потребителя прогностической продукции, оценивающих ее хозяйственную полезность. Вытекающие отсюда возможности показаны на рис. 1.4. Видно, что снижение ошибочности прогнозов на 75 % ($\delta = -0.75$) относительно исходных позволяет утверждать, что *методические прогнозы* при $\varepsilon = 0$ для всех потребителей (C/L) являются *оптимальными* (S_m). Аналогичная ситуация будет и в том случае, если $\varepsilon = 0.5$. Дальнейший рост ε до 75 (опасное снижение эффективности защиты) не компенсируется успешными показателями службы прогнозов.

Ошибочность методических прогнозов относительно уже апробированных ($\delta = 0$) может увеличиться до значения $\delta (n_{12}, n_{21}) = 0.75$. Такая информация об ожидаемой скорости ветра в данном регионе становится *убыточной* практически для *всех потребителей*.

2. Оптимальную погодо-хозяйственную стратегию можно установить на основании величины $\Delta \bar{R}_{ин-м}$, характеризующей материальные средства, сбереженные за счет методических прогнозов. Потребитель C/L воспринимает известное ε и возможную *ошибочность прогнозов* δ как исходные аргументы их оптимизации. Тогда для конкретного потребителя можно задать пороговое условие, при выполнении которого выгодно использовать стратегию ориентации на оперативные методические прогнозы. Это *условие-правило* записывается так:

$$\Delta \bar{R}_{ин-м} = \Delta \bar{R}(\varepsilon, \delta)_{ин-м} \Big|_{C/L = \text{const}} \geq 0.$$

На рис. 1.5 показана зависимость сбереженных материальных средств ($\Delta \bar{R}_{ин-м} = \bar{R}_{ин} - \bar{R}_м$) от стоимости затрат C на защитные мероприятия и успешность их применения ε , а также от ошибочности прогнозов δ . При кардинальных мерах защиты ($\varepsilon = 0$) прогнозы высокой надежности ($\delta = -0.75$) оптимальны для всех потребителей. Аналогичная картина прослеживается при $\varepsilon = 0$ и $\delta = -0.75$.

При $\varepsilon = 0; 0.5$ и $\delta = 0$ (текущая прогностическая информация) область (C/L) использования стратегии доверия методическим прогнозам заметно сужается: от $C/L \sim 0.4$ ($\varepsilon = 0$) до $C/L \sim 0.2$ ($\varepsilon = 0.5$).

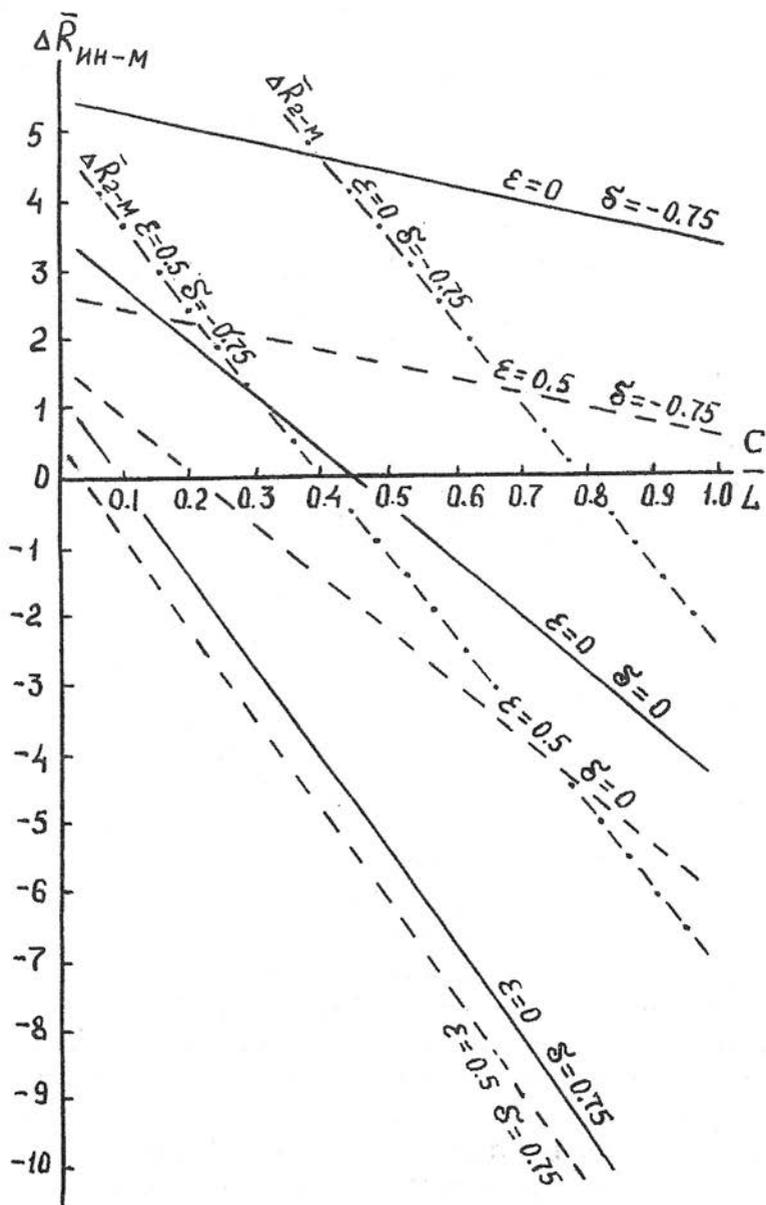


Рис. 1.5. Выбор оптимальных решений и стратегии ($\Delta \bar{R}_{ин-м} > 0$) потребителями $C/L, \epsilon$ при использовании прогнозов скорости ветра различной ошибочности δ .

Следует обратить внимание на возможность апробации климатологических стратегий ($S_{\text{кл.1}}$, $S_{\text{кл.2}}$), хотя совершенно очевидно, что привлечение их в оперативную хозяйственную практику крайне ограничено. Напомним только, что климатологическая первая стратегия ($S_{\text{кл.1}}$) ориентирует потребителя на постоянную защиту, а вторая ($S_{\text{кл.2}}$) – на допустимость пренебрежения опасными явлениями погоды. В табл. 1.19 приведены средние значения $\bar{R}_{\text{кл1}}$, $\bar{R}_{\text{кл2}}$, $\bar{R}_{\text{ин}}$, $\bar{R}_{\text{м}}$, а также соответствующие разности $\Delta\bar{R}$, характеризующие преимущество методических прогнозов ($\Delta\bar{R} > 0$) или их убыточность ($\Delta\bar{R} < 0$). Расчеты выполнены для крайних потребителей ($C/L = 0.05$ и $C/L = 0.95$) и достаточно успешных прогнозов ($\delta = -0.75$).

Таблица 1.19

Средние значения потерь (\bar{R}) и сбереженные материальные средства ($\Delta\bar{R}$) за счет использования методических прогнозов скорости ветра. Псков, 1992 – 1994 гг.

ε	$C/L = 0.5$				$\delta = -0.75$		
	$\bar{R}_{\text{кл1}}$	$\bar{R}_{\text{кл2}}$	$\Delta\bar{R}_{\text{м}}$	$\Delta\bar{R}_{\text{ин}}$	$\Delta\bar{R}_{\text{ин-м}}$	$\Delta\bar{R}_{1-м}$	$\Delta\bar{R}_{2-м}$
0	5.0	10.0	6.51	1.17	5.34	3.83	8.83
	$C/L = 0.95$				$\delta = -0.75$		
0	95.0	10.0	15.48	12.0	3.48	83.0	-2.0
	$C/L = 0.05$				$\delta = -0.75$		
0.5	9.5	10	8.49	5.87	2.62	3.63	4.13
	$C/L = 0.95$				$\delta = -0.75$		
0.5	100	10	17.45	16.69	0.76	83.31	-6.69

На рис. 1.5 показаны две изолинии $\Delta\bar{R}_{2-м}$ при $\varepsilon = 0$ и $\varepsilon = 0.5$. Если пренебречь спецификой поведения потребителя и допустить формальное использование климатологической второй стратегии ($S_{\text{кл.2}}$), то методические прогнозы при $\varepsilon = 0$ следует отвергнуть для потребителей $C/L \geq 0.75$, а в случае $\varepsilon = 0.5$ – уже для более широкого круга потребителей $C/L \geq 0.4$. Однако еще раз подчеркнем, что стратегия пренебрежения ($S_{\text{кл.2}}$) фактически вряд ли приемлема.

1.7.5. Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии на основе учета предотвращенных потерь

Обращаясь к матрице потерь (1.56), отметим одно важное обстоятельство. Оценка средних потерь (\bar{R}_m , $\bar{R}_{ст}$) включает в себя элементы, $n_{11}s_{11}$ или $n_{11}(s_{11} + \varepsilon s_{12})$ характеризующие производственную ситуацию $d(\Pi) \sim \Phi$. Это значит, что потребитель, доверяя тексту прогноза Π , принимает меры защиты, которые отвечают его производственным или иным задачам, а также технологическим, финансовым и управленческим возможностям. Средние потери от реализации оправдавшихся прогнозов наличия явления ($\Pi \sim \Phi$) составляют

$$\bar{R}(d/\Phi)_m = \frac{1}{n_{01}} n_{11}(s_{11} + \varepsilon s_{12}) \quad (1.57)$$

или относительно всех прогнозов N

$$\bar{R}(d/\Phi)_m = \frac{1}{N} n_{11}(s_{11} + \varepsilon s_{12}). \quad (1.58)$$

Выделенный компонент средних потерь $\bar{R}(d/\Phi)_m$ содержит некоторые издержки, прямо пропорциональные частоте (n_{11}). Вот здесь и скрыт формальный парадокс. Ведь для методических прогнозов n_{11} больше, чем для инерционных. Следовательно, как правило, существует и неравенство средних потерь для данного элемента матрицы сопряженности

$$\bar{R}(d/\Phi)_m > \bar{R}(d/\Phi)_{ин},$$

которое определенным образом вступает в противоречие с целевым назначением оправдавшихся прогнозов наличия явления – явление прогнозировалось и наблюдалось (n_{11}). Более того, оказывается, что чем больше *предупрежденность явления* (n_{11}/n_{10}), тем больше средние потери, относящиеся к частотам n_{11} .

Требуется, как видим, согласование целевой и формальной задач. Целевая задача – повышать предупрежденность. Формальная, с позиции байесовского подхода и выбранного критерия оптимальности (\bar{R}), – оценивать потенциальные потери. По существу удачные прогнозы наличия явления содержат не только издержки ($s_{11} + \varepsilon s_{12}$). В рассматриваемой нами ситуации $d(\Pi) \sim \Phi$ правильный прогноз опасного явления или условия погоды позволяет предотвращать потери

если не полностью (s_{12}), то хотя бы часть их, а именно $s_{12} - \varepsilon s_{12}$. При этом s_{12} — это *прямые остаточные потери* по той причине, что $\varepsilon > 0$. В случае неблагоприятной погоды остаточные потери проявляются всегда как часть максимально возможных.

Рассмотрим структуру экономических последствий использования успешных прогнозов наличия явления (n_{11}). Воспользуемся схемой (рис. 1.6), иллюстрирующей предотвращенные потери как результат принимаемых мер защиты.

В хозяйственной практике не исключена ситуация «пренебрежения» к прогнозу или предупреждению об опасном явлении. Возникновение его вызовет прямые потери $s_{12} = L$. Если подобную «стратегию» обобщать на все случаи n_{11} , то матрица потерь такого рода потребителя будет сведена к виду

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} s_{12} & s_{12} \\ 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Это говорит о том, что даже удачные прогнозы наличия явления для такого потребителя теряют смысл.

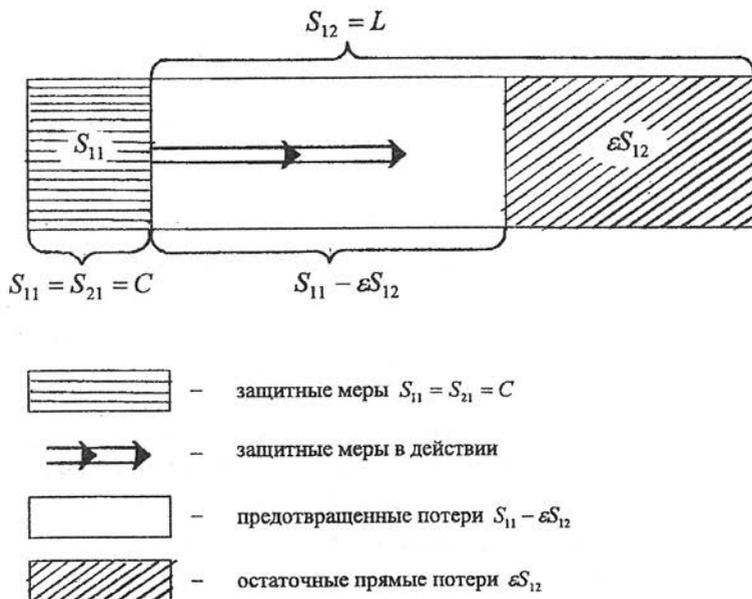


Рис. 1.6. Схема структуры последствий мер защиты и воздействующего метеорологического фактора.

Однако здравый смысл подсказывает необходимость проведения защитных мероприятий, несмотря на отсутствие полной уверенности в надежности прогнозов. Это будет оправданная позиция потребителя, поскольку в каждом случае $\Pi \sim \Phi$ применение мер защиты стоимостью s_{11} позволит *предотвратить определенную часть* $s_{12} - \varepsilon s_{12}$ (рис. 1.6) максимально возможных потерь s_{12} . Хотя, конечно, потребитель понесет часть потерь εs_{12} по причине того, что кардинальные меры защиты в широкой производственной среде, как правило, невозможны.

Итак, первый элемент матрицы потерь при единичном значении n_{11} может быть представлен в виде

$$s_{11} + \varepsilon s_{12} - (s_{11} - \varepsilon s_{12}) = s_{11} - s_{12}(1 - \varepsilon) + \varepsilon s_{12}. \quad (1.59)$$

Затраты на предупредительные меры s_{11} позволяют предотвратить потери на величину $-s_{12}(1 - \varepsilon)$, но не исключают остаточные потери εs_{12} .

Предотвращенные потери (выгода), связанные с удачными прогнозами n_{11} , составляют

$$Q(n_{11}) = n_{11}s_{12} - n_{11}\varepsilon s_{12} = n_{11}s_{12}(1 - \varepsilon) \quad (1.60)$$

или

$$Q(n_{11}) = n_{10}s_{12} - (s_{12}n_{12} + \varepsilon s_{12}n_{11}) = n_{11}s_{12}(1 - \varepsilon). \quad (1.61)$$

С учетом (1.59) формулу (1.57) и (1.58) можно записать так:

$$\bar{R}(d/\Phi)_M = \frac{1}{n_{01}} [n_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon))], \quad (1.62)$$

$$\bar{R}(d/\Phi)_M = \frac{1}{N} [n_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon))]. \quad (1.63)$$

Основываясь на этих очевидных утверждениях, запишем средние потери (уточненные байесовские) при использовании методических прогнозов

$$\bar{R}_M = \frac{1}{N} [n_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + n_{21}s_{21} + n_{12}s_{12}]; \quad (1.64)$$

аналогично для инерционных

$$\bar{R}_{ин} = \frac{1}{N} [n_{11}^{ин}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + n_{21}^{ин}s_{21} + n_{12}^{ин}s_{12}]. \quad (1.65)$$

Сбереженные материальные средства (ценности) определяются как преимущество методических прогнозов относительно инерционных

$$\Delta \bar{R} = \bar{R}_{\text{ин}} - \bar{R}_M = \\ = \frac{1}{N} \left[(n_{11}^m - n_{11})(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + s_{21}(n_{21}^m - n_{21}) + s_{12}(n_{12}^m - n_{12}) \right]. \quad (1.66)$$

Пример. В целях обеспечения нормальной работы электрических систем Москвы используются прогнозы гроз. Получив прогноз «гроза ожидается», оперативно-диспетчерское управление осуществляет целенаправленную защиту. Надежность работы электрической системы города обеспечивается противоаварийной автоматикой. Возможно отключение части потребителей при опасном внешнем воздействии на электрическую систему во время грозы.

Пусть матрица потерь этого потребителя имеет вид

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} 15 + 75 & 300 \\ 15 & 0 \end{vmatrix}_{\varepsilon=0.25} \quad \frac{\text{млн.руб}}{\text{прогноз}}$$

В 1988 г. использовались прогнозы гроз, обобщенные в следующие матрицы сопряженности:

Методические прогнозы

$$\begin{vmatrix} 19 & 5 & 24 \\ 5 & 124 & 129 \\ 24 & 129 & 153 \end{vmatrix}$$

Инерционные прогнозы

$$\begin{vmatrix} 8 & 16 & 24 \\ 16 & 113 & 129 \\ 24 & 129 & 153 \end{vmatrix}$$

Рассчитаем средние потери (\bar{R}) для возможного выбора оптимальной стратегии ($S_{\text{опт}}$) при меняющихся затратах на предупредительные меры $s_{11} = s_{21} = C$, $\varepsilon = 0.25$.

1. Средние потери при использовании методических прогнозов \bar{R}_M определяем по формуле (1.64), а $\bar{R}_{\text{ин}}$ – по формуле (1.65).

2. Не исключено, что потребитель пожелает ориентироваться на климатологическую информацию (p_{10} , p_{20} , ...). Тогда средние потери в случае постоянной защиты $\bar{R}_{\text{кл.1}}$ и пренебрежения опасной погодой $\bar{R}_{\text{кл.2}}$ определяются соответственно по формулам (1.47) и (1.49).

Результаты расчетов приведены на рис. 1.7.

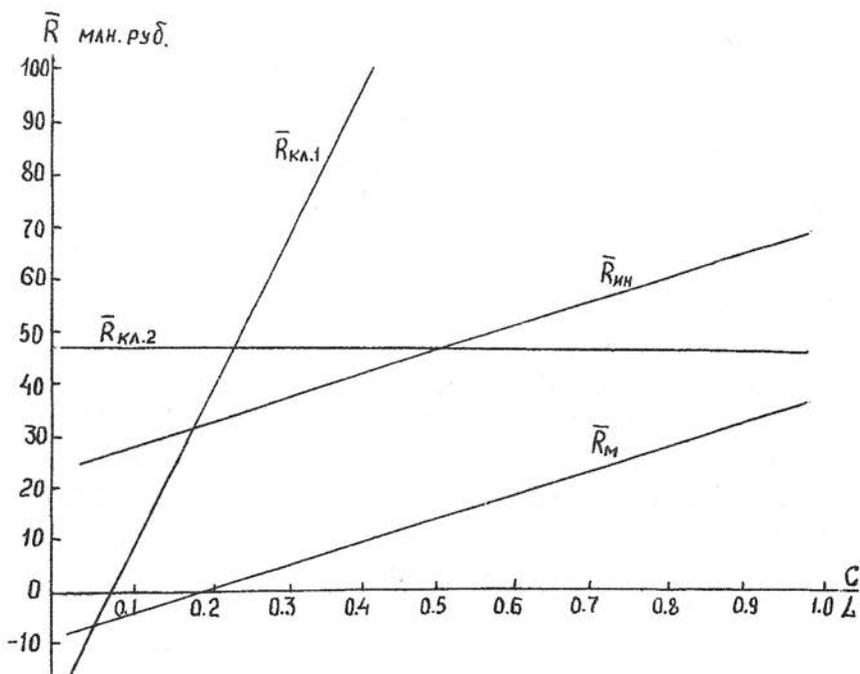


Рис. 1.7. Средние потери (\bar{R}) с учетом предотвращенных потерь — условия выбора оптимальной стратегии.

Несложно обнаружить, какая стратегия будет обеспечивать данному потребителю (C/L) минимальные потери. Так, климатологическая первая стратегия ($S_{кл.1} \Rightarrow \bar{R}_{кл.1}$) будет выгодной только для потребителей ($C/L \leq 0.05$). Однако столь малые значения C , эффективно обеспечивающие защиту, в практике явление крайне редкое. Более того постоянная защита возможна для стационарных и ограниченных по масштабам объектов.

Для всех остальных потребителей, как видно, минимальные потери приходится на методические прогнозы, использование которых и должно составлять *оптимальную стратегию* потребителей. При этом, естественно, средние потери снижаются с уменьшением стоимости защитных мер (C). Выделяется некоторая область потребителей ($0.05 < C/L < 0.2$), в которой использование методических прогнозов

особенно выгодно, поскольку предотвращенные потери $s_{12}(1-\varepsilon)$ преобладают над общими издержками $s_{11} + \varepsilon s_{12}$.

1.7.6. Полный учет предотвращенных потерь

Предотвращенные потери, согласно (1.62), относятся к единице прогностической информации, согласно общей выборке прогнозов N . Такой подход к оценке $s_{12}(1-\varepsilon)$ допустим лишь в том смысле, что все прогнозы, отраженные в матрице сопряженности, соучастны в «среднем» поведении потребителя. Более полную оценку предотвращенных потерь можно получить на основании формулы (1.62). В зависимости от соотношения s_{11} и s_{12} и значения ε предотвращенные потери $s_{12}(1-\varepsilon)$ могут быть существенно больше общих издержек ($s_{11} + \varepsilon s_{12}$).

Пример. За период с 1 ноября 1980 г. по 28 февраля 1981 г. Калининградское гидрометбюро выдало 240 полусуточных прогнозов скорости ветра для морских организаций. Обобщение их при $V \gg 12$ м/с позволило получить следующие матрицы сопряженности:

Методические прогнозы

$$\begin{vmatrix} 64 & 10 & 74 \\ 18 & 148 & 166 \\ 82 & 158 & 240 \end{vmatrix}$$

Инерционные прогнозы

$$\begin{vmatrix} 30 & 44 & 74 \\ 44 & 122 & 166 \\ 74 & 166 & 240 \end{vmatrix}$$

Предотвращенные средние потери, приходящиеся на один текст прогноза наличия явления (II), запишем в виде

$$\bar{R}_M = \frac{1}{n_{01}} [n_{11}(s_{11} + \varepsilon s_{12}) - n_{12}s_{12}(1-\varepsilon) + n_{21}s_{12}]. \quad (1.67)$$

С учетом равенства $s_{21} = s_{11}$ выражение (1.67) можно записать иначе

$$\bar{R}_M = \frac{1}{n_{01}} (s_{11}n_{01} - n_{12}s_{12}(1-2\varepsilon)) = s_{11} - q_{12}s_{12}(1-2\varepsilon). \quad (1.68)$$

Матрицу потерь потребителя, согласно известным разработкам, приближенно запишем так:

$$(s_{ij}) = \begin{vmatrix} 7 & 25 \\ 2 & 0 \end{vmatrix}_{\varepsilon=0.2} \frac{\text{тыс.руб}}{\text{прогноз}} \quad (80\text{-е годы}).$$

При использовании методических прогнозов средние потери потребителя будут равны (согласно (1.67))

$$\bar{R}_m = \frac{1}{82} [64(2 + 0.2 \cdot 25) - 64 \cdot 25(1 - 0.2) + 18.2] = -9.7 \frac{\text{тыс.руб}}{\text{прогноз}}.$$

Предотвращенные потери здесь составляют -15.6 тыс. руб/прогноз. В случае использования инерционных прогнозов получаем

$$\bar{R}_{ин} = \frac{1}{82} (30 \cdot 7 - 30 \cdot 25 \cdot 0.8 + 44 \cdot 2) = -3.68 \frac{\text{тыс.руб}}{\text{прогноз}},$$

при этом предотвращенные средние потери составляют -7.3 тыс. руб/прогноз.

Климатологические стратегии позволяют установить следующее:

$$\bar{R}_{кл.1} = \frac{74}{240} \cdot 7 - \frac{74}{240} \cdot 25 \cdot 0.8 + \frac{166}{240} \cdot 2 = -2.63 \text{ тыс. руб/случай.}$$

Используя постоянную защиту, потребитель предотвращает потери на -6.17 тыс. руб/прогноз.

Климатологическая вторая стратегия не несет информации о предотвращенных потерях. Наоборот, потери, обусловленные пренебрежением наступления опасного явления, составят

$$\bar{R}_{кл.2} = \frac{74}{240} \cdot 25 = 7.71 \text{ тыс. руб/случай.}$$

Итак, из четырех возможных стратегий *оптимальной* является стратегия ориентации на оперативные методические прогнозы.

2. Критериальная оценка выбора оптимальной стратегии

В зависимости от ожидаемых условий погоды потребитель должен ориентировать производственные операции на определенные виды работ или иные действия таким образом, чтобы они были адекватны ожидаемой погоде. Прогноз используется для более надежной адаптации к условиям возможной погоды и решения тем самым задачи извлечь максимальную пользу в «игре» с природой. При этом один из игроков, а именно потребитель, находится в более выгодном положении. Он заблаговременно изучает поведение другого игрока и знает *вероятное* осуществление его отдельных «ходов». Это обстоятельство наилучшим образом использовано в байесовском подходе построения функции потерь (функции риска) и конструировании общей модели поиска оптимальных решений и оптимальной стратегии. Задача, как видим, решается в рамках экстремизации функции цели (критерий оптимальности). Однако в поисках оптимального поведения потребителя возможны иные подходы, при которых метеорологические и экономические аргументы образуют такую систему, в которой в качестве *оптимального условия* выступает определенный *критерий*.

2.1. Выбор оптимальной климатологической стратегии с учетом отношения «затрат к убыткам»

Можно допустить, что потребитель располагает сведениями о *вероятностях* опасных явлений и условий погоды в данном пункте и рассматривает их в качестве *климатологических прогнозов*. Под «*вероятностью явления*» будем понимать ее приближенную характеристику, а именно повторяемость:

$$p_{10} = n_{10}/N.$$

Следует установить, при каких условиях потребителю, который ориентируется на климатологические прогнозы, выгодно или постоянно применять меры защиты, или постоянно пренебрегать последствиями неблагоприятной погоды. Такого рода прогнозы должны быть апробированы в хозяйственной практике, чтобы выработать *оптимальное поведение* на длительный срок. Сам процесс «хозяйственной апробации» может быть теоретически постулирован, что не только сокращает процесс накопления опыта, но и позволяет сделать его более надежным.

Рассмотрим два варианта поведения потребителя.

1. Потребитель знает, что в течение N дней может быть n_{10} дней с неблагоприятной погодой. Он *допускает*, что если в течение этого времени ежедневно применять защитные меры стоимостью C , избегая прямых убытков L в каждом из n_{10} дней, то общие затраты CN будут меньше потерь Ln_{10} . Это положение выражается неравенством

$$CN < Ln_{10},$$

или, если разделить на LN :

$$C/L < n_{10}/N.$$

Отсюда

$$p_{10} > C/L. \quad (2.1)$$

Правило: использовать *стратегию постоянной защиты* $S_{кл.1}$ можно в том случае, если вероятность опасного явления (условия погоды) больше отношения затрат к убыткам.

Поведение потребителя, диктуемое *стратегией перестраховки*, предполагает, что стоимость затрат C на защитные меры относительно невелика, а технология и организация защиты исключительно эффективны, т.е. применяются *кардинальные* меры защиты.

2. При тех же начальных условиях потребитель считает, что лучше никогда не применять защитные меры, поскольку в этом случае можно допустить, что общие потери Ln_{10} за счет непогоды будут меньше общих затрат CN на защитные меры:

$$CN > n_{10}L,$$

или

$$p_{10} < C/L. \quad (2.2)$$

Правило: использовать *стратегию пренебрежения защитой* $S_{кл.2}$ можно тогда, когда вероятность опасного явления (условия погоды) меньше отношения затрат к убыткам.

С точки зрения обеспечения безопасности эта стратегия для многих условий неблагоприятной погоды вряд ли допустима. Даже единичное особо опасное явление может привести к большим человеческим жертвам.

В итоге на основании климатических вероятностей (здесь $p_{10} \approx p_{кл}$) можно записать *обобщающее правило* выбора данным потребителем (C/L) *оптимальной климатологической стратегии:*

$$S_{\text{опт(кл)}} = \begin{cases} p_{10} > C/L \Rightarrow S_{\text{кл.1}} & (\text{постоянная защита}) \\ p_{10} = C/L \Rightarrow S & (S_{\text{кл.1}} \text{ или } S_{\text{кл.2}}) \\ p_{10} < C/L \Rightarrow S_{\text{кл.2}} & (\text{защита исключается}) \end{cases} \quad (2.3)$$

При использовании климатологической стратегии постоянной защиты средние потери, которые несет потребитель, будут составлять

$$\bar{R}_{\text{кл.1}} = CN/N = C, \quad (2.4)$$

а в случае климатологической стратегии пренебрежения защитой

$$\bar{R}_{\text{кл.2}} = Ln_{10}/N = Lp_{10}. \quad (2.5)$$

Введем нормативные потери $E = \bar{R}/L$, тогда выбор оптимальной климатологической стратегии можно отобразить графически (рис. 2.1). При этом устанавливается, для каких потребителей (C/L) средние потери из двух возможных вариантов будут минимальны, т.е.

$$E_{\text{опт}} = \min(E_{\text{кл.1}}, E_{\text{кл.2}}). \quad (2.6)$$

На рис. 2.1 двойными линиями отображены оптимальные климатологические стратегии.

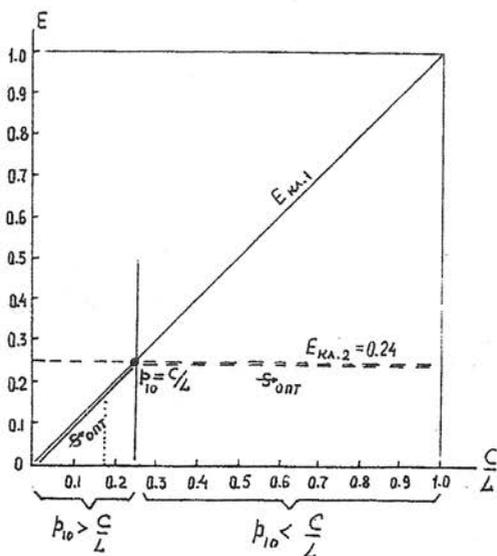


Рис. 2.1. Номограмма для выбора оптимальной климатологической стратегии.

Пример. Полусуточные альтернативные прогнозы скорости ветра ($V \geq 12$ м/с, $V < 12$ м/с) использовались в Санкт-Петербургском морском торговом порту (МТП) в холодный период 1987 – 1990 гг.:

Методические прогнозы

245	51	296
103	815	918
348	866	1214

Использование МПТ в 1988 – 1989 гг. полусуточных альтернативных прогнозов скорости ветра ($V \geq 12$ м/с, <12 м/с) позволило установить матрицу потерь

$$s_{ij} = \begin{vmatrix} 103 & 115 \\ 20 & 0 \end{vmatrix}_{\varepsilon=(103-20)/115=0.72} \quad \text{тыс. руб/прогноз.}$$

Расчеты дают следующие результаты:

$$p_{10} = \frac{296}{1214} = 0.244; \quad C/L = \frac{20}{115} = 0.174.$$

Таким образом, в случае ориентирования на климатическую информацию потребителю выгоднее использовать климатологическую стратегию постоянной защиты (для определенного вида работ), а не стратегию пренебрежения ею.

2.2. Совместный анализ средних потерь при использовании климатологических и методических прогнозов. Номограмма потерь

Приведем обобщение потерь (общие, средние, нормированные) при выборе потребителем предпочтительной стратегии: одной из климатологических или он ориентируется на методические прогнозы (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Потери потребителя при различных
погодо-хозяйственных стратегиях

Стратегия	Потери потребителя		
	общие	средние	нормированные
$S_{\text{кл.1}}$	$R_{\text{кл.1}} = CN$	$\bar{R}_{\text{кл.1}} = C$	$E_{\text{кл.1}} = C/L$
$S_{\text{кл.2}}$	$R_{\text{кл.2}} = Ln_{10}$	$\bar{R}_{\text{кл.2}} = p_{10}L$	$E_{\text{кл.2}} = p_{10}$
$S_{\text{м}}$	$R_{\text{м}} = Cn_{10} + Ln_{12}$	$\bar{R}_{\text{м}} = p_{01}C + p_{12}L$	$E_{\text{м}} = p_{12} + p_{01}C/L$

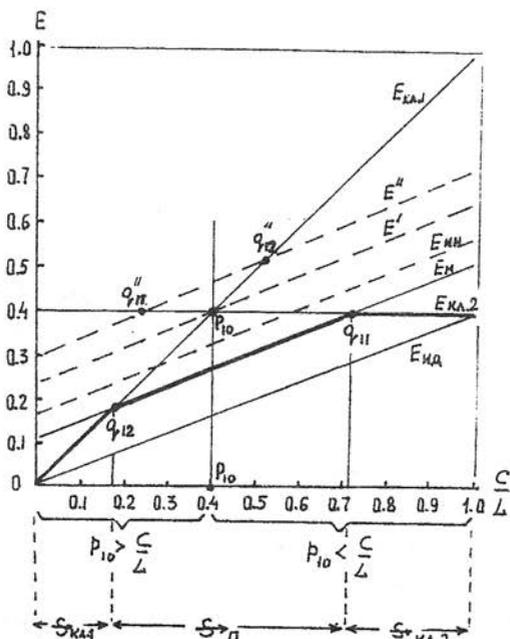


Рис. 2.2. Номограмма для выбора оптимальной стратегии.

На рис. 2.2 приведена номограмма потерь при возможной стратегии потребителя.

Равенства $E_{кл.1} = E_{кл.2}$ или $C/L = p_{10}$ позволяют установить два диапазона значений потребителей C/L , для которых оптимальна одна из климатологических стратегий.

Потери при использовании методических прогнозов отражены линейной функцией (уравнением линейной связи). Найдем разности

$$\Delta \bar{R}_{кл.1}^M = p_{02}(C - q_{12}L) = p_{02}(s_{11} - q_{12}s_{12});$$

$$\Delta \bar{R}_{кл.2}^M = p_{01}(Lq_{11} - C) = p_{01}(s_{12}q_{11} - s_{11}).$$

Преимущество идеальных прогнозов относительно оперативных методических определяется формулой вида

$$\Delta \bar{R}_M^{ид} = p_{01}C + p_{12}L - p_{11}^{ид}C.$$

Поскольку $p_{01}^M = p_{11}^{ид}$, то очевидно, что

$$\Delta \bar{R}_M^{\text{нд}} = p_{12}L = p_{12}S_{12}.$$

Об экономической полезности использования методических прогнозов можно судить также по критерию, предложенному Омшанским:

$$\omega = \frac{\bar{R}_M - \bar{R}_{\text{кл}}}{\bar{R}_{\text{нд}} - \bar{R}_{\text{кл}}}.$$

Показатель ω меняется в пределах от 0 до 1. Он показывает уровень хозяйственной полезности методического прогноза по отношению к безуспешному прогнозу, для которого $\bar{R}_M = \bar{R}_{\text{кл}}$ и $\omega = 0$, и к абсолютно надежному, для которого $\bar{R}_M = \bar{R}_{\text{нд}}$ и $\omega = 1$.

Пример. Воспользуемся исходными данными примера, приведенного в п. 2.1. Средние потери для потребителя $C/L = 0.174$ при разных стратегиях будут равны:

$$\begin{aligned} S_{\text{кл.1}} &\Rightarrow \bar{R}_{\text{кл.1}} = 20; & E_{\text{кл.1}} &= 20/115 = 0.174; \\ S_{\text{кл.2}} &\Rightarrow \bar{R}_{\text{кл.2}} = 28.1; & E_{\text{кл.2}} &= 296/1214 = 0.244; \\ S_{\text{н}} &\Rightarrow \bar{R}_M = 10.6; & E_M &= 0.092. \end{aligned}$$

Эти расчеты показывают, что экономически выгодной является стратегия ориентации на методические прогнозы.

Установим возможность использования данных прогнозов скорости ветра не только морским торговым портом, но и рядом других морских организаций с известным отношением C/L .

Для этого необходимо построить диаграмму потерь, отражающую реализацию альтернативных прогнозов скорости ветра.

Порядок расчета выстроим следующим образом.

1. Величина $E_{\text{кл.1}} = C/L$ в специальных расчетах не нуждается. Линия связи проходит по диагонали квадрата с координатами $E, C/L$.
2. Величина $E_{\text{кл.2}} = p_{10}$ также дает простое отображение потерь.
3. Определение линейной функции $E_M \cdot E_M = f_M(C/L = 0.1, \gamma)$ и

$$E = p_{12} + p_{01} \frac{C}{L}. \quad (2.7)$$

На номограмме (см. рис. 2.2) линия связи (2.7) пересекает две другие линии $E_{\text{кл.1}}$ и $E_{\text{кл.2}}$, образуя точки пересечения с величинами соответственно q_{12} и q_{11} , что следует из равенств:

$$E_{\text{кл.1}} = E_{\text{м}}$$

или

$$\frac{C}{L} = \frac{C}{L} p_{01} + p_{12}.$$

Отсюда

$$\frac{C}{L} = q_{12}. \quad (2.8)$$

В случае

$$E_{\text{кл.2}} = E_{\text{м}}$$

находим

$$\frac{C}{L} = q_{11}. \quad (2.9)$$

Оптимальная стратегия для тех или иных потребителей (C/L) выделена на номограмме жирной линией.

В случае $p_{12} = 0$ прогнозы, согласно формуле (2.7), являются идеальными. Как видно из номограммы, они оптимальны для всех потребителей (линия $E_{\text{ид}}$), так как для любого из них потери будут минимальны. Методические прогнозы в соответствии с условиями (2.8) и (2.9) оптимальны только для части потребителей, для которых выполняется неравенство

$$q_{12} < C/L < q_{11}. \quad (2.10)$$

Отсюда следует, что *оптимальная погодо-хозяйственная стратегия* при различных значениях отношения C/L будет определяться на основании кусочно-линейной зависимости нормированных средних потерь, что в целом можно записать в виде *правила*

$$S_{\text{опт}}(E_{\text{опт}}) = \begin{cases} E_{\text{кл.1}} & \text{при } q_{12} \geq C/L \\ E_{\text{м}} & \text{при } q_{12} < C/L < q_{11} \\ E_{\text{кл.2}} & \text{при } q_{11} \leq C/L \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} S_{\text{кл.1}} \\ S_{\text{м}} \\ S_{\text{кл.2}} \end{cases} \quad (2.11)$$

Однако и методические прогнозы не всегда удовлетворяют потребителей, поскольку в ряде случаев по успешности существенно отличаются от идеальных.

На номограмме представлены потери при инерционных прогнозах ($E_{\text{ин}}$), которые в большинстве своем по уровню успешности ус-

тупают методическим. Область потребителей, которые могли бы использовать эти прогнозы, заметно сужается. Например, если методические прогнозы оптимальны для потребителей в диапазоне значений C/L от 0.17 до 0.72, то для инерционных прогнозов это отмечается в диапазоне примерно 0.3 – 0.5.

Возможен особый случай прогностической информации (E), когда потери приравняется к $E_{\text{кл.1}}$ и $E_{\text{кл.2}}$ и в точке « p_{10} » устанавливается единственное значение в виде

$$E_{\text{кл.1}} = E_{\text{кл.2}} = E'$$

Равенство $\frac{C}{L} p_{01} + p_{12} = p_{10}$ показывает, что в этой точке $\frac{C}{L} = q_{11}$, а другое равенство $\frac{C}{L} p_{01} + p_{12} = \frac{C}{L}$ подтверждает, что в той же точке $\frac{C}{L} = q_{12}$, т.е. обнаруживается условие $p_{10} = q_{11} = q_{12}$. К примеру, приведем матрицу сопряженности вида

$$\begin{array}{l|l} \begin{array}{ccc} 15 & 15 & 30 \\ 35 & 35 & 70 \\ 50 & 50 & 100 \end{array} & \begin{array}{l} p_{10} = 0.3 \\ q_{11} = 0.3 \\ q_{12} = 0.3 \end{array} \end{array}$$

Такие прогнозы не содержат практической ценности. Обратим внимание еще на один возможный гипотетический случай (E''). Совершенно очевидно, что при таких прогнозах потребители, для которых $q_{11}'' < C/L < q_{12}''$, несут убытки.

Итак, стратегия использования метеорологических прогнозов дает выигрыш в средних потерях по сравнению со стратегией использования климатологических прогнозов, представленных в виде вероятностей опасных явлений или условий погоды:

$$\Delta E_{\text{кл.1}}^{\text{м}} = \frac{C}{L} p_{02} - p_{12}, \quad (2.12)$$

$$\Delta E_{\text{кл.2}}^{\text{м}} = p_{11} - \frac{C}{L} p_{01}. \quad (2.13)$$

Переходя к средним потерям в денежном измерении ($\bar{R} = E \times L$), можем записать $E_M = f(C/L = 0.8, \gamma)$, где γ — отражение частот n_{01} и n_{12} . Для потребителя $C/L = 0.1$ значение $E_M = 0.07$, а для потребителя $C/L = 0.8$ $E_M = 0.27$ (рис. 2.3). Как следует из анализа номограммы потерь, прогнозы скорости ветра оптимальны для потребителей, значения C/L которых удовлетворяет условию

$$0.06 < C/L < 0.70. \quad (2.14)$$

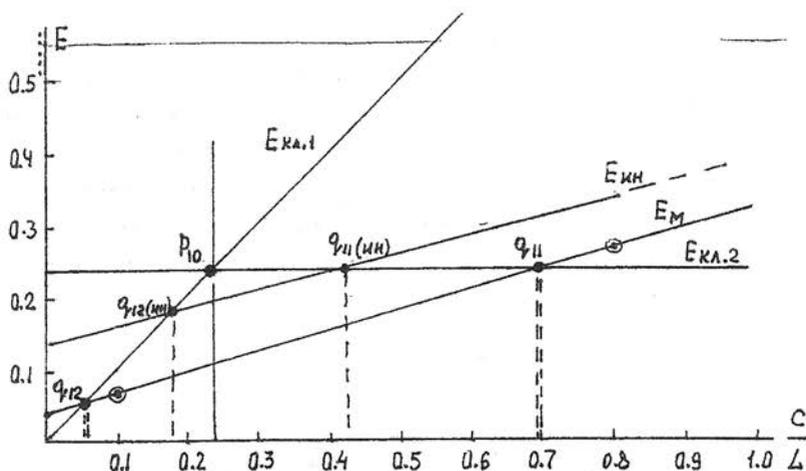


Рис. 2.3. Выбор оптимальной стратегии потребителями (C/L), использующими прогнозы скорости ветра в Санкт-Петербурге.

Использование инерционных прогнозов скорости ветра нельзя полностью исключить, однако область их реализации невелика да и полезность относительно мала. Так, для самого удачливого потребителя, для которого $C/L = 0.244 = p_{10}$, выгоднее, конечно, использовать методические прогнозы, так как

$$\Delta E_2^M(p_{10}) = E_{кл.2} - E_M = 0.244 - 0.110 = 0.134 \quad (2.15)$$

и

$$\Delta E_2^{ин}(p_{10}) = E_{кл.2} - E_{ин} = 0.244 - 0.190 = 0.054, \quad (2.16)$$

что хорошо просматривается на приведенной номограмме потерь (см. рис. 2.3).

2.2.1. Пороговая оправдываемость прогнозов

Общая оправдываемость прогнозов как мера оценки качества прогнозов не является надежным показателем и выражает лишь часть успеха прогнозирования. Общая оправдываемость есть отношение числа оправдавшихся прогнозов к общему числу прогнозов. Этим по существу и исчерпывается содержательная часть этого критерия. Тем не менее, представляется возможным использовать критерий «общая оправдываемость» в оценке преимущества методических прогнозов перед климатологическими для данного потребителя C/L .

Несмещенные прогнозы. Прогнозы, для которых частота текстов (n_{01}, n_{02}, \dots) равна частоте фаз погоды (n_{10}, n_{20}, \dots), относятся к классу несмещенных.

Из условия $E_{\text{кл.1}} = E_{\text{м}}$ было получено выражение (2.8), которое можно записать в виде

$$\frac{C}{L} = q_{12} = \frac{p_{12}}{p_{02}} = \frac{p_{12}}{(1 - p_{01})}. \quad (2.17)$$

Для несмещенных альтернативных прогнозов $n_{10} = n_{01}$, $n_{20} = n_{02}$ и $n_{12} = n_{21}$. Обозначая $p^* = p_{12} = p_{21}$, общую оправдываемость можно представить так: $p = 1 - 2p^*$. На основании (2.17) находим

$$\frac{p^*}{1 - p_{10}} = \frac{C}{L}.$$

Отсюда

$$p_{\text{пор}} = 1 - 2 \frac{C}{L} (1 - p_{10}). \quad (2.18)$$

Использование прогнозов будет экономически полезнее для данного потребителя C/L , чем ориентация на стратегию постоянной защиты ($E_{\text{кл.1}}$), если общая оправдываемость больше пороговой:

$$p > p_{\text{пор}}. \quad (2.19)$$

Аналогично, используя равенство $E_{\text{кл.2}} = E_{\text{м}}$ и следуя условию (2.9), получаем

$$p_{\text{пор}} = 1 - 2p_{10} \left(1 - \frac{C}{L} \right). \quad (2.20)$$

Для данного потребителя C/L методические прогнозы выгоднее использования стратегии пренебрежения ($S_{\text{кл.2}}$), если выполняется неравенство (2.19).

Смещенные прогнозы. В оперативной синоптической практике краткосрочные прогнозы, как правило, смещенные: $n_{10} \neq n_{01}$, $n_{20} \neq n_{02}$ и $n_{12} \neq n_{21}$. В основном это обусловлено неравенством ошибок первого и второго рода (n_{12} , n_{21}). В большинстве случаев ошибок-страховок (n_{21}) больше, чем ошибок-пропусков (n_{12}).

Для этого класса прогнозов воспользуемся общей оправдываемостью

$$p = p_{11} + p_{22}. \quad (2.21)$$

На основании равенства (2.8) или (2.17) получаем

$$\frac{C}{L} = \frac{p_{02} - p_{22}}{p_{02}}.$$

Отсюда

$$p_{22} = p_{02} \left(1 - \frac{C}{L} \right). \quad (2.22)$$

Тогда

$$p_{\text{пор}}^* = p_{11} + p_{02} \left(1 - \frac{C}{L} \right). \quad (2.23)$$

Прогнозы экономически выгоднее первой климатологической стратегии, определяемой условием $p_{10} > C/L$, если

$$p > p_{\text{пор}}^*. \quad (2.24)$$

Равенство (2.9) позволяет записать

$$p_{11} = p_{01} \frac{C}{L}. \quad (2.25)$$

Тогда

$$p_{\text{пор}}^* = p_{22} + p_{01} \frac{C}{L}. \quad (2.26)$$

Полезность прогнозов устанавливается условием (2.24).

Пример. Рассмотрим возможности оптимального использования прогнозов весенних заморозков во время посадки овощных культур в сельскохозяйственных производственных объединениях, совхозах, акционерных объединениях и т.п. в центральной части Европейской территории России. Матрицы сопряженности методических и инерционных прогнозов заморозков получены на основании данных оперативных прогностических подразделений ряда пунктов с 1979 по 1990 г.:

Методические прогнозы

Φ_i	Π_j		\sum_j
	$\Pi (t \leq 0)$	$\bar{\Pi} (t > 0)$	
$\Phi (t \leq 0)$	241	37	278
$\bar{\Phi} (t > 0)$	186	1455	1641
\sum_i	427	1492	1919

На основании фактических материалов реализации прогнозов получены средние значения элементов матрицы потерь для данного потребителя:

$$s_{ij} = \begin{vmatrix} 5.6 & 49.6 \\ 5.6 & 0 \end{vmatrix} \frac{\text{тыс.руб}}{\text{прогноз}} (80\text{-е годы}). \quad (2.27)$$

По формулам (2.18) и (2.20) при допущении несмещенности и принятых условиях $p_{10} > C/L$ и $p_{10} < C/L$ рассчитывается пороговая оправдываемость прогнозов весенних заморозков ($p_{\text{пор}}$). Поскольку в оперативной синоптической практике методические прогнозы являются смещенными (на самом деле $n_{12} = 37$, $n_{21} = 186$), пороговая оправдываемость ($p_{\text{пор}}^*$) устанавливается по формулам (2.23) и (2.26). На рис. 2.4 дано графическое отображение возможности использования прогнозов весенних заморозков – выбор оптимальной стратегии конкретным потребителем ($C/L = s_{11}/s_{12}$). Как видим, область хозяйственного использования прогнозов достаточно обширна $0.06 \leq C/L \leq 0.6$. В этой же области находится и «средний потребитель» прогнозов весенних заморозков $C/L = 0.11$ (матрица потерь (2.27)) центральных областей ЕТР (в пределах $50 - 60^\circ$ с.ш.). Максимальная полезность прогнозов заморозков, достигнутой успешности, приходится на потребителя $C/L = 0.15$, для которого $\Delta p = p_M - p_{\text{пор}} \Rightarrow \text{макс.}$

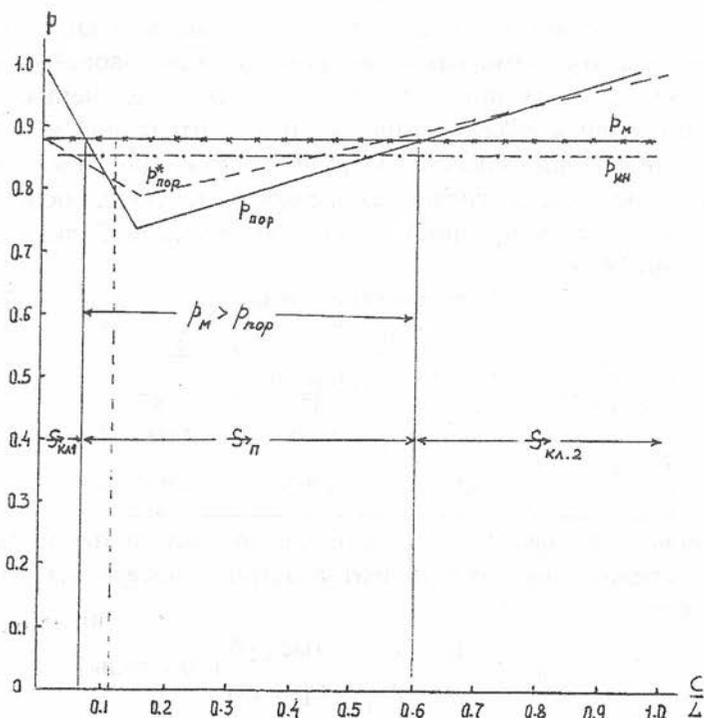


Рис. 2.4. Выбор оптимальной стратегии на основании пороговой оправдываемости $p_{пор}$, $p_{пор}^*$.

Пороговая оправдываемость при смещенных прогнозах $p_{пор}^*$ несколько ужесточает условия выбора стратегии, смещая область потребителей прогнозов в сторону меньших значений C/L . Подкупающая простота подхода содержит все же определенные его ограничения. Обратим внимание на одно обстоятельство. Общая оправдываемость p_M не затрагивает соотношения ошибок пропусков и ошибок страховок, а тем более их последствий. Пороговая оправдываемость включает характеристику потребителя C/L . Однако реакция потребителя на ошибочные прогнозы (n_{12} , n_{21}) через пороговую оправдываемость несмещенных прогнозов не прослеживается (формулы (2.18); (2.20)). Косвенное отражение такого рода ошибок отмечается в пороговой оправдываемости смещенных прогнозов ($p_{пор}^*$) (2.23), (2.26).

2.3. Учет некардинальности мер защиты

Рассмотренные в п. 2.1 и 2.2 подходы к выбору оптимальной погодо-хозяйственной стратегии базируются на допущении кардинальности принимаемых мер защиты. Как уже отмечалось в п. 1.7.7, практика поведения потребителя в действительности такова, что принимаемые им меры защиты не позволяют *полностью* предотвратить потери, если опасное условие погоды наступило. Возможные потери снижаются до реальных, которые можно назвать *остаточными* ($\varepsilon S_{12} = \varepsilon L$). Допуская это условие, правило (2.3) получает следующий вид:

$$S_{\text{опт(кл)}} = \begin{cases} p_{10} > \frac{C}{L(1-\varepsilon)} & \Rightarrow S_{\text{кл.1}} \\ p_{10} = \frac{C}{L(1-\varepsilon)} & \Rightarrow S_{\text{кл.1}} \text{ или } S_{\text{кл.2}} \\ p_{10} < \frac{C}{L(1-\varepsilon)} & \Rightarrow S_{\text{кл.2}} \end{cases} \quad (2.28)$$

Общие, средние и нормированные потери, включая использование прогнозов, обобщим в табл. 2.2, аналогичной табл. 2.1.

Таблица 2.2
Потери потребителя при частичных мерах защиты

Стратегия	Потери потребителя		
	общие	средние	нормированные
$S_{\text{кл.1}}$	$R_{\text{кл.1}} = CN + \varepsilon Ln_{10}$	$\bar{R}_{\text{кл.1}} = C + \varepsilon Lp_{10}$	$E_{\text{кл.1}} = C/L + \varepsilon p_{10}$
$S_{\text{кл.2}}$	$R_{\text{кл.2}} = Ln_{10}$	$\bar{R}_{\text{кл.2}} = Lp_{10}$	$E_{\text{кл.2}} = p_{10}$
$S_{\text{М}}$	$R_{\text{М}} = Cn_{01} + \varepsilon Ln_{11} + Ln_{12}$	$\bar{R}_{\text{М}} = Cp_{01} + \varepsilon Lp_{11} + Lp_{12}$	$E_{\text{М}} = p_{01}C/L + \varepsilon p_{11} + p_{12}$

При частичных мерах защиты более точное выражение получает пороговая оправдываемость (2.18) и (2.20). В случае $p_{10} > \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$

$$p_{\text{пор}} = 1 - 2 \frac{C}{L(1-\varepsilon)} (1 - p_{10}); \quad (2.29)$$

если $p_{10} < \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$, то

$$p_{\text{пор}} = 1 - 2p_{10} \left(1 - \frac{C}{L(1-\varepsilon)} \right). \quad (2.30)$$

Аналогичным образом уточняются формулы (2.23) и (2.26) при смещенных прогнозах.

Использование прогнозов экономически выгодно для той части потребителей ($C/L(1-\varepsilon)$), для которой выполняется условие

$$q_{12}(1-\varepsilon) < C/L < q_{11}(1-\varepsilon). \quad (2.31)$$

С увеличением ε (или снижением эффективности мер защиты) q_{11} и q_{12} , как это следует из номограммы потерь (см. рис. 2.2), условные вероятности быстро уменьшаются, сужая тем самым область (C/L) использования прогнозов. Допустим, есть три варианта значений ε : 0, 0.2 и 0.8. Тогда при начальных $q_{11} = 0.7$ и $q_{12} = 0.2$ получаем

$$0.20 < C/L < 0.70 \quad \varepsilon = 0, \quad \Delta(C/L) = 0.5;$$

$$0.16 < C/L < 0.56 \quad \varepsilon = 0.2, \quad \Delta(C/L) = 0.4;$$

$$0.04 < C/L < 0.14 \quad \varepsilon = 0.8, \quad \Delta(C/L) = 0.1.$$

При больших значениях ε использовать прогнозы могут лишь единичные потребители. Достаточно просто устанавливается экономическая полезность прогнозов при условии $\varepsilon > 0$: посредством оценки разностей $\Delta \bar{R}$ или ΔE .

Пример. Рассмотрим характерный пример выбора оптимальной погодо-хозяйственной стратегии таким потребителем, как Санкт-Петербургский морской торговый порт (СПб МТП). Соответствующие матрицы сопряженности альтернативных прогнозов скорости ветра $\Pi(V)$ приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Матрицы сопряженности альтернативных прогнозов скорости ветра
(при $V_{\text{мин}} \geq 18$ м/с). СПб МТП, 1988 – 1993 гг., октябрь – март, $\tau = 24$ ч)

Методические прогнозы				Инерционные прогнозы			
$\Phi(V)_i$	$\Pi(V)_j$ м/с		\sum_j	$\Phi(V)_i$	$\Pi(V)_j$ м/с		\sum_j
	$V \geq 18$	$V = 0-17$			$V \geq 18$	$V = 0-17$	
$V \geq 18$	37	12	49	$V \geq 18$	23	26	49
$V = 0-17$	43	819	862	$V = 0-17$	26	836	862
\sum_i	80	831	911	\sum_i	49	862	911

Матрица потерь (s_{ij}) для данного потребителя при частичных мерах защиты ($0 < \varepsilon < 1$) представляет собой следующее (в денежном исчислении 1980–1991 гг.):

$$(s_{ij}) = \left\{ \begin{array}{cc} d(\Pi) & \bar{d}(\bar{\Pi}) \\ \Phi & 123 & 165 \\ \bar{\Phi} & 59 & 17 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{тыс. руб.} \\ \text{прогноз} \end{array} \quad (2.32)$$

Величина ε , как это следует из (2.32), составляет

$$\varepsilon = (123 - 59) / 165 = 0.388.$$

Отсюда $\frac{C}{L} = 0.358$ и $\frac{C}{L(1-\varepsilon)} = \frac{59}{165(1-0.388)} = 0.584$.

Метеорологические прогнозы (n_{ij}) и экономическая характеристика потребителя (s_{ij}) дают исчерпывающую информацию для выбора оптимальной погодо-хозяйственной стратегии.

1. По формуле (1.33) установим возможность выбора оперативного погодо-хозяйственного решения $\frac{p(\Phi/\Pi)}{p(\bar{\Phi}/\Pi)} > \frac{C}{L}$ – тексту прогноза «явление ожидается» следует постоянно доверять. Действительно,

$$\frac{0.462}{0.538} > \frac{59}{165} \text{ или } 0.859 > 0.358 \text{ при } \varepsilon = 0.$$

С учетом $\varepsilon = 0.388$ находим: $0.859 > 0.584$.

Отсюда следует, что текст прогноза Π получает доверие потребителя, имеющего матрицу потерь (2.32), и обеспечивает «байесовский минимум» потерь.

2. Установим пороговую оправдываемость. По матрице сопряженности альтернативных прогнозов скорости ветра находим:

$p_{10} = \frac{n_{10}}{N} = 0.054$, $p_m = 0.940$. Отсюда видно, что $p_{10} < \frac{C}{L}$, а тем

более $\frac{C}{L(1-\varepsilon)}$.

Используем формулу (2.30) с учетом некардинальности мер защиты

$$p_{\text{пор}} = 1 - 2p_{10} \left(1 - \frac{C}{L(1-\varepsilon)} \right) = 1 - 2 \cdot 0.054(1 - 0.584) = 0.955.$$

Потребитель «тяготеет» в область второй климатологической стратегии – стратегии пренебрежения опасными условиями погоды.

Для смещенных прогнозов при условии $p_{10} < \frac{C}{L}$

$$P_{\text{пор}}^* = p_{22} + p_{01} \frac{C}{L} = 0.899 + 0.088 \cdot 0.358 = 0.930$$

и

$$P_{\text{пор}}^* = p_{22} + p_{01} \frac{C}{L(1-\varepsilon)} = 0.899 + 0.088 \cdot 0.584 = 0.950.$$

Разность $\Delta p = p_m - p_{\text{пор}}$, выраженная в сотых долях, дает основание с определенной осторожностью утверждать, что альтернативные прогнозы ($V \geq 18$ м/с) могут быть использованы оптимально.

3. Дадим оценку сбереженных материальных ценностей при использовании методических прогнозов. С учетом s_{22} при $\varepsilon = 0$ находим

$$\begin{aligned} \Delta \bar{R}_{\text{кл.1}}^M &= p_{02}(C - Lq_{12} - Kq_{22}) = p_{02}(s_{11} - s_{12}q_{12} - s_{22}q_{22})_{\varepsilon=0} = \\ &= 0.912(59 - 165 \cdot 0.014 - 17 \cdot 0.986) = 36.41 \text{ тыс. руб/прогноз.} \end{aligned}$$

В случае $\varepsilon = 0.388$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{R}_{\text{кл.1}}^M &= p_{02}(C - Lq_{12}(1-\varepsilon) - Kq_{22}) = \\ &= p_{02}(s_{11} - s_{12}q_{12}(1-\varepsilon) - s_{22}q_{22}) = 37.23 \text{ тыс. руб/прогноз.} \end{aligned}$$

Преимущество стратегии ориентации на методические прогнозы относительно климатологической второй стратегии определяется по формуле, отражающей разность средних потерь при использовании прогнозов соответствующего вида и условию $\varepsilon = 0$:

$$\begin{aligned} \Delta R_{\text{кл.2}}^M &= Lp_{10} + Kp_{20} - Cp_{01}Lp_{12} - Kp_{22} = p_{01}(Lq_{11} + Kq_{21} - C) = \\ &= p_{01}(s_{12}q_{11} + s_{22}q_{21} - s_{11}) = 0.088(165 \cdot 0.462 + 17 \cdot 0.538 - 59) = \\ &= 2.32 \text{ тыс. руб/прогноз.} \end{aligned}$$

Хотя преимущество прогнозов при $\varepsilon = 0$ очевидно, оно не столь убедительно. Выказанная выше осторожность относительно ориентации потребителя на альтернативные прогнозы ($V \geq 18$ м/с) может быть полностью снята в том случае, если качество прогнозов будет повышено. Это в первую очередь касается ошибок-страховок n_{21} .

Оценка $\Delta \bar{R}_{кл.2}^M$ при фактическом значении $\varepsilon = 0.388$ подтверждает необходимость снижения ошибочности прогнозирования и заметного уменьшения коэффициента ε :

$$\begin{aligned} \Delta \bar{R}_{кл.2}^M &= Lp_{10} + Kp_{20} - Cp_{01} - \varepsilon Lp_{12} - Kp_{22} = p_{01}(Lq_{11}(1-\varepsilon) + Kq_{21} - C) = \\ &= p_{01}(s_{12}q_{11}(1-\varepsilon) + s_{22}q_{21} - s_{11}) = \\ &= 0.088(165 \cdot 0.462(1-0.388) + 17 \cdot 0.538 - 59) = -0.28 \text{ тыс. руб./прогноз.} \end{aligned}$$

Не обнаруживается значительного преимущества методических прогнозов относительно инерционных.

При $\varepsilon = 0$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{R}_{ин}^M &= s_{11}(p_{01}^{ин} - p_{01}) + s_{21}(p_{21}^{ин} - p_{21}) + s_{12}(p_{12}^{ин} - p_{12}) + s_{22}(p_{22}^{ин} - p_{22}) = \\ &= 0.30 \text{ тыс. руб./прогноз} \end{aligned}$$

При $\varepsilon = 0.388$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{R}_{ин}^M &= (s_{11} + \varepsilon s_{12})(p_{11}^{ин} - p_{11}) + s_{21}(p_{21}^{ин} - p_{21}) + s_{12}(p_{12}^{ин} - p_{12}) + \\ &+ s_{22}(p_{22}^{ин} - p_{22}) = -0.68 \text{ млн. руб./прогноз.} \end{aligned}$$

2.4. Учет предотвращенных потерь

Как отмечалось в п. 1.7.5, формальное толкование байесовского подхода ведет к неравенству

$$\bar{R}\left(\frac{d}{\Phi}\right)_M > \bar{R}\left(\frac{d}{\Phi}\right)_{ин},$$

которое в случае $(n_{11})_M > (n_{11})_{ин}$ вступает в противоречие с результатами прогнозирования.

Формулы (1.64) – (1.66) позволяют более точно установить ту часть издержек потребителя, которая обусловлена недостаточным качеством прогнозов и которую реально можно назвать *байесовскими потерями*.

Учет предотвращенных потерь должен выступать в качестве обязательного элемента оценки полезности прогнозов. Этим достаточно строго можно руководствоваться при разработке условий реализации прогнозов на гидрометеорологическом рынке.

Пример. Продолжим рассмотрение примера, приведенного в п. 2.3. Рассчитаем сбереженные за счет прогнозов материальные ценности

с учетом предотвращенных потерь $Q(n_{11})$ и $\varepsilon = 0.388$. Относительно климатологической первой стратегии, допуская $s_{22} = 0$, получим

$$\begin{aligned}\Delta \bar{R}_{\text{кл.1}}^{\text{M}} &= [p_{10}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + p_{20}s_{21}] - [p_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + \\ &+ p_{21}s_{21} + p_{12}s_{12}] = p_{12}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + s_{21}p_{22} - s_{12}p_{12} = \\ &= 0.041(59 - 165(1 - 2 \cdot 0.388)) + 59 \cdot 0.899 - 165 \cdot 0.013 = \\ &= 53.47 \text{ тыс. руб./прогноз.}\end{aligned}$$

При этом, согласно (1.60), средняя выгода правильных прогнозов наличия явления ($V \geq 18$ м/с) равна

$$Q(n_{11}) = 0.041 \cdot 165(1 - 0.388) = 4.14 \text{ тыс. руб./прогноз};$$

$$\begin{aligned}\Delta \bar{R}_{\text{кл.2}}^{\text{M}} &= p_{10}s_{12} - [p_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + p_{21}s_{21} + p_{12}s_{12}]_{\varepsilon=0.388} = \\ &= 8.91 - 5.85 = 3.06.\end{aligned}$$

Значение $Q(n_{11})$ сохраняется прежним. Относительно использования инерционных прогнозов методические прогнозы позволяют снизить потери на величину

$$\begin{aligned}\Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{M}} &= [p_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + p_{21}s_{21} + p_{12}s_{12}]_{\text{ин}} - \\ &- [p_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + p_{21}s_{21} + p_{12}s_{12}]_{\text{м}} = \\ &= [0.025(59 - 165(1 - 2 \cdot 0.388)) + 0.029 \cdot 59 + 0.029 \cdot 165]_{\text{ин}} - \\ &- [0.041(59 - 165(1 - 2 \cdot 0.388)) + 0.047 \cdot 59 + 0.013 \cdot 165]_{\text{м}} = \\ &= 7.047 - 5.850 = 1.20 \text{ тыс. руб./прогноз.}\end{aligned}$$

В случае инерционных прогнозов

$$Q(n_{11})_{\text{ин}} = 0.025 \cdot 165 \cdot 0.612 = 2.52 \text{ тыс. руб./прогноз.}$$

Итак, можно сделать заключение, что из четырех возможных стратегий, представленных потребителю на апробацию, оптимальной следует признать *стратегию доверия* оперативным методическим прогнозам скорости ветра ($V \geq 18$ м/с).

Кроме того, заметим следующее: прямая оценка средних потерь в байесовском подходе, определяемая произведением матриц $\|p_{ij}\| \times \|s_{ij}\|$, полностью не раскрывает преимущества методических прогнозов. Это связано с тем, что область потерь формально распространяется на все виды прогнозов (n_{11} , n_{21} , n_{12}), как оправдавшиеся, так и не оправдавшиеся.

2.5. Требования потребителя к успешности метеорологических прогнозов

Прогнозы могут быть признаны экономически выгодными и использоваться на практике, если они удовлетворяют требованиям потребителя, выражаемого отношением $\frac{C}{L}$ или $\frac{C}{L(1-\varepsilon)}$.

Успешность прогнозов может быть определена посредством такой формулы, как

$$Q^* = q_{11} + q_{22} - 1.$$

Необходимо, чтобы точность прогнозов Q^* превышала некоторое пороговое значение $Q_{\text{пор}}^*$. В предположении смещенности прогнозов указанное требование записывается в виде

$$Q^* > Q_{\text{пор}}^* = \begin{cases} p_{10} - C/L & \text{при } p_{10} > C/L; \\ C/L - p_{10} & \text{при } p_{10} < C/L. \end{cases} \quad (2.33)$$

Выполнение условия (2.33) дает основание считать, что *использование прогнозов выгоднее* ориентации потребителя на климатологические стратегии.

Обратимся к иному показателю доверия прогнозам, успешность прогнозирования которых предлагается выразить следующими метеорологическими оценками:

$$\chi_1 = p_{11}/p_{21} \text{ и } \chi_2 = p_{12}/p_{22}.$$

В качестве комплексной характеристики потребителя используется отношение

$$\beta = \frac{s_{22} - s_{21}}{s_{11} - s_{12}}, \quad (2.34)$$

где s_{ij} – элементы матрицы потерь второго порядка. Правила выбора оптимальной *погодо-хозяйственной стратегии* записываются так:

$$S_{\text{опт}} \Rightarrow \begin{cases} \beta < \chi_2 & \Rightarrow \text{стратегия } S_{\text{кл.1}}; \\ \chi_2 < \beta < \chi_1 & \Rightarrow \text{стратегия } S_{\text{п}}; \\ \beta > \chi_1 & \Rightarrow \text{стратегия } S_{\text{кл.2}}. \end{cases} \quad (2.35)$$

Допустим в качестве исходного условия равенство потерь при инерционном и методическом прогнозах, тогда можем установить пороговое условие их полезности

$$\frac{C}{L} = \frac{p_{12}^{\text{ин}} - p_{12}}{p_{01} - p_{10}} = \omega. \quad (2.36)$$

Здесь возможны два частных варианта.

1. $p_{01} > p_{10}$ – явление прогнозируется чаще, чем фактически наблюдается. При этом $p_{01} > p_{01}^{\text{ин}}$ и $p_{12} < p_{21}$. Тогда

$$\mathfrak{S}_{\text{опт}} = \begin{cases} \omega > C/L \Rightarrow \mathfrak{S}_{\text{п}}; \\ \omega < C/L \Rightarrow \mathfrak{S}_{\text{ин}}. \end{cases}$$

2. $p_{01} < p_{10}$ – явление прогнозируется реже, чем фактически наблюдается. При этом $p_{01} < p_{01}^{\text{ин}}$ и $p_{12} > p_{21}$. Тогда

$$\mathfrak{S}_{\text{опт}} = \begin{cases} \omega < C/L \Rightarrow \mathfrak{S}_{\text{п}}; \\ \omega > C/L \Rightarrow \mathfrak{S}_{\text{ин}}. \end{cases}$$

Эти два варианта удобнее свести в единое правило с помощью отношения p_{01}/p_{10} . Тогда

$$\mathfrak{S}_{\text{опт}} = \begin{cases} p_{01}/p_{10} < 1 & \omega > C/L \Rightarrow \mathfrak{S}_{\text{ин}}; \\ p_{01}/p_{10} < 1 & \omega < C/L \Rightarrow \mathfrak{S}_{\text{п}}; \\ p_{01}/p_{10} > 1 & \omega > C/L \Rightarrow \mathfrak{S}_{\text{п}}; \\ p_{01}/p_{10} > 1 & \omega < C/L \Rightarrow \mathfrak{S}_{\text{ин}}. \end{cases} \quad (2.37)$$

Пример. Воспользуемся снова постановкой задачи и исходными данными примера, приведенного в п. 2.3.

Установим возможность выполнения требований, предъявляемых потребителем к метеорологическим прогнозам.

1. Сначала определим успешность прогнозов, используя критерий Q^* :

$$Q_{\text{м}}^* = (0.463 + 0.986) - 1 = 0.449.$$

Затем $p_{10} = 0.054$, $\frac{C}{L} = 0.358$, $\frac{C}{L(1-\varepsilon)} = 0.584$.

В том и другом случае $p_{10} < \left(\frac{C}{L}, \frac{C}{L(1-\varepsilon)} \right)$. В свою очередь

$Q_{\text{пор}}^* = \frac{C}{L} - p_{10} = 0.304$ и $Q_{\text{пор}}^* = \frac{C}{L(1-\varepsilon)} - p_{10} = 0.530$. Оценим Q^* для инерционных прогнозов

$$Q_{\text{ин}}^* = (0.469 + 0.970) - 1 = 0.439.$$

Как видим, $(Q_{\text{м}}^*, Q_{\text{ин}}^*) > (Q_{\text{пор}}^*)_{\varepsilon=0}$, но в то же время $(Q_{\text{м}}^*, Q_{\text{ин}}^*) < (Q_{\text{пор}}^*)_{\varepsilon=0.388}$, что не дает основания для выбора оптимального решения.

2. Определим показатели успешности методических прогнозов:

$$\chi_1 = p_{11} / p_{21} = n_{11} / n_{21} = 37 / 43 = 0.861,$$

$$\chi_2 = p_{12} / p_{22} = n_{12} / n_{22} = 12 / 819 = 0.015.$$

Характеристика потребителя

$$\beta = \frac{s_{22} - s_{21}}{s_{11} - s_{12}} = \frac{-42}{-106} = 0.396.$$

Отсюда следует, что

$$\chi_2 < \beta < \chi_1.$$

Параллельно оценим χ_1 и χ_2 для инерционного прогноза. Находим: $\chi_1 = 0.885$ и $\chi_2 = 0.031$. На основании этого можем сделать следующий вывод: оптимальными можно признать как методические, так и инерционные прогнозы.

3. Воспользуемся критерием (2.37). Для методических прогнозов $p_{01} / p_{10} > 1$. Находим значение ω

$$\omega = \frac{p_{12}^{\text{ин}} - p_{12}}{p_{01} - p_{10}} = \frac{26 - 12}{80 - 49} = 0.452.$$

Очевидно, что $\omega > C/L$ т.е. $0.452 > 0.358$.

Однако при $\varepsilon = 0.388$ $\omega < \frac{C}{L(1-\varepsilon)}$ и методические прогнозы теряют оптимальность.

Критериальная оценка прогнозов «на оптимальность» показывает, что в данном случае необходимо: или прогностическому подразделению повысить успешность методических прогнозов – уменьшить ошибки первого и второго рода, или потребителю разработать и использовать более совершенную технологию защиты от неблагоприятных условий погоды и тем самым снизить коэффициент непредотвращенных потерь ε по меньшей мере до 0.2.

2.6. Экономическая полезность прогнозов. Условие выбора оптимальной стратегии

Экономическая полезность оперативных методических прогнозов погоды рассматривается посредством оценки следующих трех параметров: экономического эффекта (\mathcal{E}), экономической эффективности (P) и адаптации потребителя к ожидаемым условиям погоды (P_0).

В основу расчета меры экономического эффекта, получаемого потребителем от использования метеорологических прогнозов, принимается некоторая величина сэкономленных материальных средств

$$\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}} = \begin{cases} \Delta \bar{R}_{\text{кл}}^{\text{м}} = \bar{R}_{\text{кл}} - \bar{R}_{\text{м}} \\ \Delta \bar{R}_{\text{ин}}^{\text{м}} = \bar{R}_{\text{ин}} - \bar{R}_{\text{м}} \\ \Delta \bar{R}_{\text{сл}}^{\text{м}} = \bar{R}_{\text{сл}} - \bar{R}_{\text{м}} \end{cases}, \quad (2.38)$$

где $\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}}$ – разность между средними потерями при использовании соответственно стандартных (климатологических, инерционных, случайных) и методических прогнозов.

Величина *экономического эффекта* определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \beta N (\Delta \bar{R}_{\text{ст}}^{\text{м}} - \mathcal{Z}_{\text{ин}}), \quad (2.39)$$

где β – коэффициент долевого участия гидрометеослужбы в получении экономического эффекта ($\beta = 0.3$), N – общее число прогнозов, $\mathcal{Z}_{\text{ин}}$ – предпроизводственные затраты (стоимость) на прогностическую информацию. Оценка затрат на прогностическую информацию ($\mathcal{Z}_{\text{ин}}$) выполнялась в ряде работ, и на сегодня известны их численные значения (см. табл. 1.10)

Более часто в ранжировке средних потерь при допущении использования стандартных прогнозов выстраивается неравенство

$$\bar{R}_{\text{ин}} < \bar{R}_{\text{кл}} < \bar{R}_{\text{сл}}.$$

Тогда формулу (2.39) перепишем так:

$$\mathcal{E} = \beta N [(\bar{R}_{ин} - \bar{R}_M) - \mathcal{Z}_{ин}], \quad (2.40)$$

$\Delta R_{ин}^M = \bar{R}_{ин} - \bar{R}_M$ – снижение средних потерь при использовании методических прогнозов (по сравнению с использованием инерционных прогнозов), отражающее сбережения материальных ценностей.

Экономический эффект (\mathcal{E}) есть абсолютная величина полезности, которая существенно меняется от «масштабности» потребителя. Производственные объекты могут быть как относительно малого, так и большого территориального охвата и различной по инфраструктуре сложности. Так, например, рядом расположенные речной и крупный морской порт получают за счет использования прогнозов скорости ветра разный экономический эффект, нередко отличающийся на порядок. Аналогичные различия по результатам оценки величины \mathcal{E} складываются для сельскохозяйственных и лесозаготовительных предприятий. Эта особенность в оценке экономической полезности прогнозов прослеживается во всех отраслях экономики.

В целях сравнительной оценки использования прогнозов различными потребителями следует установить их *экономическую эффективность*

$$P = \frac{\mathcal{E}}{N\mathcal{Z}_{ин}} = \beta \left(\frac{\bar{R}_{ст} - \bar{R}_M}{\mathcal{Z}_{ин}} - 1 \right). \quad (2.41)$$

Стратегия ориентироваться на прогнозы тем эффективнее, чем больше достижение эффекта (\mathcal{E}) при меньших затратах ($N\mathcal{Z}_{ин}$) на разработку прогнозов.

Анализ формулы (2.40) показывает, что экономический эффект, выраженный в таком виде, включает не только затраты на прогнозы $\mathcal{Z}_{ин}$, но и те издержки, которые несет потребитель на защитные мероприятия ($s_{11}n_{01}$). На этом основании может быть рекомендован иной показатель экономической полезности – *полная экономическая эффективность* использования прогнозов в системе «поставщик – потребитель».

$$P^* = \frac{\mathcal{E}}{N\mathcal{Z}_{ин} + Np_{01}s_{11}} = \frac{\mathcal{E}}{N(\mathcal{Z}_{ин} + p_{01}s_{11})}. \quad (2.41^*)$$

В таком случае формула (2.41) отражает *частную экономическую эффективность*.

Полезность прогнозов, как видим, есть результат целенаправленной совместной научно-производственной деятельности как поставщика, так и потребителя.

На практике полезность прогнозов, более очевидная для потребителя, рассматривается относительно степени подверженности его неблагоприятной погоде. В этом случае эффективность прогнозов отражает возможность потребителя адаптироваться к ожидаемым условиям погоды.

Мера адаптации потребителя выражается формулой

$$P_0 = \frac{\mathcal{E}}{NR_{\text{ст}}} = \beta \left(1 - \frac{1}{R_{\text{ст}}} (\bar{R}_m + \mathcal{Z}_{\text{ин}}) \right). \quad (2.42)$$

Достоверность результатов оценки показателей экономической полезности (2.40) – (2.42) достижима при выполнении следующих условий:

1) иметь вероятностное описание осуществления прогнозов, оценку показателей \mathcal{E} , P , P_0 для единичного прогноза исключить; она принципиально невозможна;

2) полезность устанавливать по однородному и непрерывному ряду прогнозов за длительный период;

3) использовать обоснованный выбор стандартного прогноза как базового условия (уровня) отсчета полезности;

4) иметь данные о стоимости прогностической информации.

Экономический эффект, полученный при использовании методических прогнозов, может быть реализован в виде:

– *сокращения* эксплуатационных затрат (экономия топливно-энергетических, материальных и трудовых ресурсов);

– *получения* дополнительной продукции народного хозяйства (электроэнергия, урожай, морепродукты, полезные ископаемые и др.);

– *предотвращения* прямых потерь от неблагоприятных гидрометеорологических условий, особо опасных (ОЯ) и стихийных (СГМЯ) гидрометеорологических явлений.

Экономический эффект прогнозов погоды при известном уровне их успешности отражает реальные возможности метеорологического обеспечения и позволяет решать широкий круг задач в области маркетинга.

Если в настоящее время общая оправдываемость краткосрочных прогнозов составляет 85–90 %, то оставшиеся до «идеальных» 15–10 %

будут приходиться на наиболее сложный и дорогостоящий отрезок пути совершенствования службы прогнозов.

Следует заметить, что отрицательный экономический эффект неоправдавшихся прогнозов (ошибок-пропусков – n_{12} и ошибок-страховок – n_{21}) может перекрыть положительный экономический эффект оправдавшихся. Такие ситуации при итоговом оценивании прогнозов вполне возможны. Однако при этом нередко заведомо полностью отвергается возможность отрицательного экономического эффекта, что, конечно, недопустимо. И если такой результат оценки встречается, что крайне редко, его признание не снижает высокий авторитет синоптиков.

Следует отметить еще одно немаловажное обстоятельство, которое касается некоторых определений и понятий экономической полезности. Это непосредственно относится к трактовке экономического эффекта. В некоторых научных работах получаемому в практике за счет прогнозов экономическому эффекту приписывается некая условность и потенциальный характер результата. Иногда подчеркивают, что получаемый результат есть потенциальный экономический эффект (возможный, не проявившейся еще). Это неправомерное утверждение. Потребитель устанавливает *реальные стоимостные значения* элементов матрицы потерь, а не потенциальные, а значит, получаемый экономический эффект с достижимой точностью является реальным. В дополнение следует подчеркнуть, что цены на гидрометеорологическую продукцию также имеют определенную степень точности и не всегда адекватны затратам на их производство и доставляемую потребителю полезность. Тем не менее, это реальные цены и тем более не потенциальные, хотя, как правило, заниженные.

Оперативная прогностическая информация несет сберегающие функции, позволяет потребителю заблаговременно предусмотреть действия, которые или ограничивают, или вовсе исключают убытки по метеорологическим причинам. Возможное при этом снижение потерь оценивается по отношению к тем потерям, которые мог бы понести потребитель, если бы использовал стандартные прогнозы (инерционные, климатологические или случайные).

Общая схема вычисления показателей экономической полезности использования прогнозов в системе «погода – прогноз – потребитель» приведена на рис. 2.5. Разработка матриц сопряженности

прогнозов и матриц потерь требует анализа результатов многолетней работы поставщика и потребителя, статистической оценки факторов поведения хозяйственного объекта в условиях частичной неопределенности ожидаемой погоды.

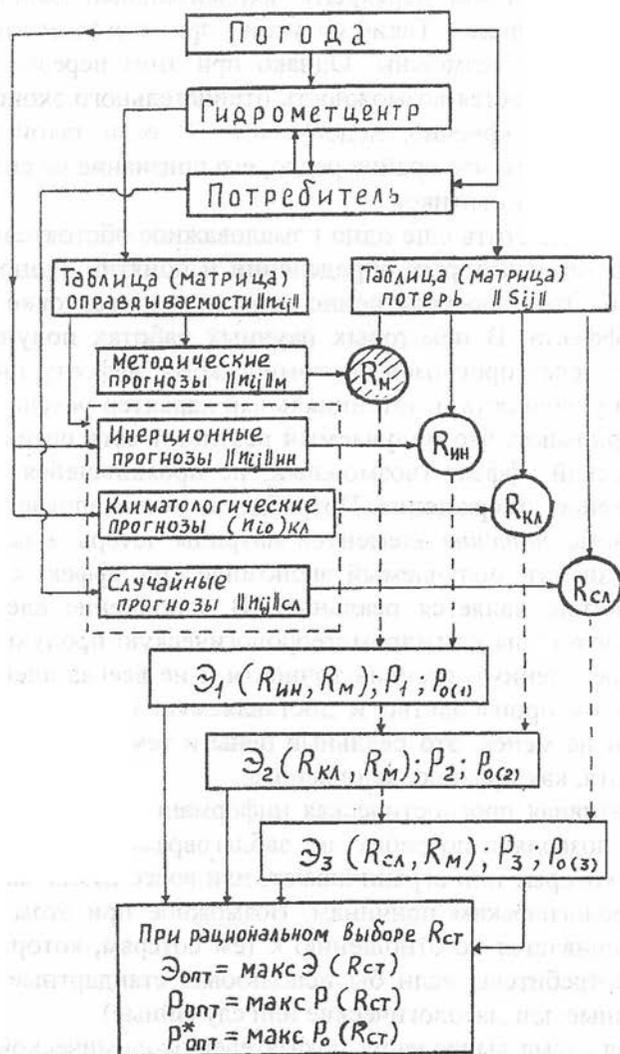


Рис. 2.5. Схема вычисления показателей экономической полезности Δ , P и P_0 .

Полагая, что климатологические стратегии ($S_{\text{кл.1}}, S_{\text{кл.2}}$) не приемлемы для ряда потребителей, а транспорта в особенности, в качестве базового условия отсчета полезности допустимо использовать инерционные прогнозы. Средние (в статистическом смысле) потери при использовании методических прогнозов *a priori* допускаются как минимальные из возможного набора стратегий ($\bar{R}_{\text{ин}}, \bar{R}_{\text{кл}}, \bar{R}_{\text{сл}}$). Оценка показателей экономической полезности позволяет ранжировать их в целях выбора оптимального решения.

В итоге следует вывод, что для данного потребителя (C/L или $\frac{C}{L(1-\varepsilon)}$) оптимальное использование прогнозов предполагает достижение такого значения ε , при котором обеспечивается экономическая полезность прогнозов.

Пример. Строительные организации Новгорода используют альтернативные прогнозы скорости ветра ($V_{\text{шт}} \geq 15$ м/с). Матрицы сопряженности прогнозов при различной ошибочности прогнозирования δ приведены в табл. 2.4. Пояснение ошибочности δ давалось в примере в п. 1.7.4.

Таблица 2.4

Матрицы сопряженности прогнозов скорости ветра ($V_{\text{шт}} \geq 15$ м/с). Новгород, 1992 – 1994 гг. (холодная часть года)

	Методические прогнозы	Инерционные прогнозы
$\delta = -0.75$	$\begin{vmatrix} 86 & 9 & 95 \\ 34 & 348 & 382 \\ 120 & 357 & 477 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 9 & 86 & 95 \\ 86 & 296 & 382 \\ 95 & 382 & 477 \end{vmatrix}$
$\delta = 0$	$\begin{vmatrix} 59 & 36 & 95 \\ 135 & 247 & 382 \\ 194 & 283 & 477 \end{vmatrix}$	
$\delta = 0.75$	$\begin{vmatrix} 32 & 63 & 95 \\ 236 & 146 & 382 \\ 268 & 209 & 477 \end{vmatrix}$	

При случайном прогнозировании, когда выдается случайный текст прогноза, матрица сопряженности таких прогнозов имеет вид

$$\begin{vmatrix} 39 & 56 & 95 \\ 155 & 227 & 382 \\ 194 & 283 & 477 \end{vmatrix},$$

а матрица потерь

$$s_{ij} = \begin{vmatrix} 186.9 & 420 \\ 186.9 & 0 \end{vmatrix} \frac{\text{млн. руб.}}{\text{прогноз}} \quad (\text{в ценах 1997 г.}).$$

Экономический эффект (\mathcal{E}), экономическая полезность (P) и эффективность адаптации (P_0) при разных значениях ε и δ приведены на рис. 2.6.

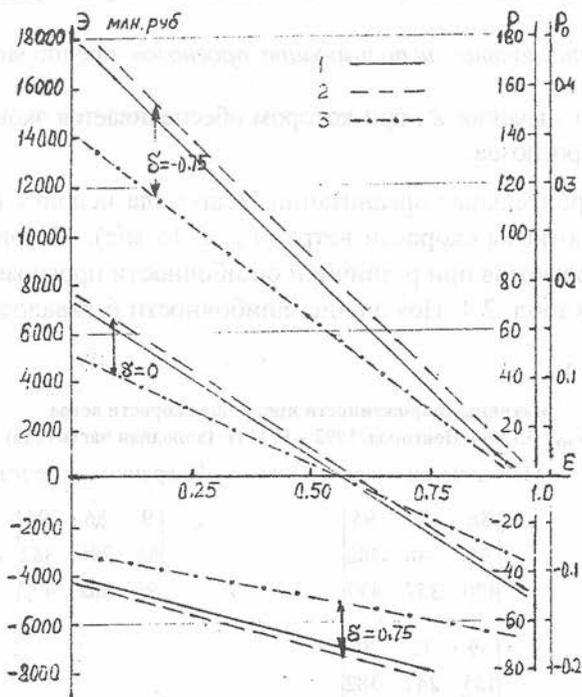


Рис. 2.6. Оптимальные условия использования прогнозов скорости ветра ($V_{шт} \geq 15$ м/с). СПб МТП.

1 – экономический эффект \mathcal{E} , 2 – экономическая эффективность P , 3 – эффективность адаптации P_0 .

Прежде всего при $\delta = -0.75$ методические прогнозы скорости ветра ($V_{шт} \geq 15$ м/с) оптимальны для данного потребителя вплоть до $\varepsilon = 0.9$.

Прогнозы, которые взяты в качестве исходных $\delta = 0$ и отражают фактическую результативность прогнозирования, оптимальны толь-

ко при условии $\varepsilon < 0.6$. Если качество прогнозов заметно снижается и величина δ достигает 0.75, то такая прогностическая информация *убыточна* при любых ε .

Таким образом, все показатели экономической полезности подтверждают, что с уменьшением ε растет выгода использования данных прогнозов для выбранного потребителя.

Как уже отмечалось, использование климатологических стратегий имеет серьезные ограничения. Применительно к данному потребителю они неприемлемы и по оценке средних потерь. Так, при фактическом прогнозировании ($\delta = 0$) и возможном выборе стратегий, отвечающих стандартным прогнозам, средние потери с учетом предотвращенных, например при $\varepsilon = 0.25$, имеют следующие значения:

$$\bar{R}_M = \frac{1}{477} (59(186.9 - 420(1-2 \cdot 0.25)) + 135 \cdot 186.9 + 36 \cdot 420) = 81.7 \frac{\text{млн. руб.}}{\text{прогноз}};$$

$$\bar{R}_{\text{ин}} = 109.2 \frac{\text{млн. руб.}}{\text{прогноз}};$$

$$\bar{R}_{\text{кл.1}} = \frac{1}{477} (95(186.9 - 420(1-2 \cdot 0.25)) + 382 \cdot 186.9) = 145.1 \frac{\text{млн. руб.}}{\text{прогноз}};$$

$$\bar{R}_{\text{кл.2}} = \frac{1}{477} (95 \cdot 420) = 83.6 = \frac{\text{млн. руб.}}{\text{прогноз}};$$

$$\bar{R}_{\text{сл}} = \frac{1}{477} (38.6(-23.1) + 155.4 \cdot 186.9 + 56.4 \cdot 420) = 108.7 \frac{\text{млн. руб.}}{\text{прогноз}}.$$

Таким образом, выбор *оптимальной стратегии* предопределен – это *стратегия доверия оперативным прогнозам*. Следует остановиться еще на одном важном выводе. При оценке экономического эффекта (Э) использования прогнозов данным потребителем в качестве базового прогноза берется инерционный. Это немаловажное обстоятельство прослеживается для многих потребителей, работающих в условиях, зависящих от погоды, и постоянно обращающих свое внимание на фактическую погоду на начальном этапе планового периода хозяйственных работ.

Тем не менее в производственной практике потребителю свойственно, и естественно, ориентироваться на ту погоду, которая приходится на начало работы. Наряду с полученным прогнозом начальные условия погоды не выпадают из поля зрения потребителя, а приобретают

особый смысл «благоприятной» или «неблагоприятной» погоды. Начальная погода психологически давит на потребителя. Особую опасность в этом случае несет «благоприятная» начальная погода. Не исключено, что потребитель может принять решение вопреки прогнозу, основываясь лишь на собственных интуитивных мотивах.

В оперативной синоптической практике не исключено применение инерционных прогнозов, основанных на сохранении начальных условий погоды на тот или иной отрезок времени. При метеорологическом обеспечении авиации прогнозы ветра, например, по воздушным трассам на 3–6 часов могут быть достаточно успешными при наличии устойчивых обширных антициклонов. Быстро меняющиеся синоптические процессы практически исключают использование указанного свойства инерции погодных условий. Поэтому инерционные прогнозы на сутки и более могут оказаться уже на уровне случайных.

2.7. Выбор оптимальной стратегии в условиях статистической неустойчивости матриц сопряженности

Обобщение прогностической информации в виде матриц сопряженности заданного порядка ($n \times m$) является классическим способом уплотнения информации. Этот подход широко используется в различных областях науки и практики и нашел универсальное применение в гидрометеорологии.

Матрицы сопряженности метеорологических, а в целом гидрометеорологических прогнозов отражают *post factum* как состояние среды, так и степень адекватности условия «прогноз–факт». Сжатая в матрицах сопряженности информация – естественное отражение синоптических, мезометеорологических и региональных особенностей. Синоптические процессы с их особым сезонным проявлением выступают главной причиной статистической неустойчивости матриц сопряженности. Даже в одни и те же сезоны года вероятность опасного явления или условия погоды будет меняться. Другой причиной неустойчивости может быть смена метода прогнозирования и изменение в связи с этим успешности прогнозов. Предположение о статистической устойчивости матриц сопряженности относится, таким образом, к области допущений.

Абсолютная статистическая устойчивость, т.е. сохранение в последующие годы повторяемостей n_{ij} / N в условных пределах их изме-

нений (размерности $n \times m$), конечно же, не выполняется. Однако отклонения не должны быть столь значительными, чтобы выводы, полученные на основании «данной» матрицы сопряженности, оказались сомнительными. Действительно, как показывает анализ многочисленных матриц сопряженности прогнозов по данному пункту, статистическая устойчивость матриц сопряженности выполняется частично. Это может навести на мысль, что существует опасение ошибочного выбора погодо-хозяйственной стратегии. Если допустить изменчивость $p_{i0} = n_{i0} / N$ как естественное условие, возникает необходимость поиска варьирования такого выбора. Конечно, при достаточно полном статистическом наборе матриц сопряженности, отражающих пространственно-временную однородность, допустимые изменения $\|n_{ij}\|$ могут

быть установлены через общую дисперсию элементов n_{ij} матрицы сопряженности. Рассмотрим практически более доступное решение, которое состоит в том, что полученная за данный сезон (по многолетним данным) матрица сопряженности прогнозов рассматривается как исходная и подвергается преобразованию. Осуществляется статистическое моделирование ошибочности прогнозирования (δ_{12} , δ_{21}) и его влияние на конечный результат реализации прогнозов. Такого рода метеоролого-экономическая модель оказывается достаточно чувствительной к ошибкам первого (n_{12}) и второго (n_{21}) рода. Задание ряда по-

требителей $\left(\frac{C}{L} \text{ или } \frac{C}{L(1-\varepsilon)} \right)$ или одного потребителя с различной эффективностью защитных мер (ε или $1-\varepsilon$) позволяет значительно шире исследовать возможность выбора оптимальной стратегии по ряду известных показателей экономической полезности прогнозов (\mathcal{E} , P , P_0).

Нередко допускается идентификация понятий правильности и точности прогнозов. Все же следует иметь в виду, что случайный характер ошибок может свести неточные прогнозы к правильным. Однако если исследуются не сами значения метеорологических величин, а их предельные допуски (градации, фазы и т.п.), то ошибки прогнозирования (n_{12} , n_{21}) относятся уже к самой синоптической практике, к технологии прогнозирования.

Зададим ошибки прогнозирования (n_{12}, n_{21}) относительно исходной матрицы сопряженности таким образом, что они меняются на следующее число процентов: + 75, +50, +25, 0, -25, -50, -75. Рост ошибок сопровождается потерей доверия к прогнозам данным потребителем, а их уменьшение – повышением успешности выбора их как более полезной для дела прогностической информации.

Пример. Альтернативные прогнозы скорости ветра ($V_{шт} \geq 12$ м/с) используются строительными организациями Псковской области. Методические прогнозы скорости ветра по Пскову обобщены за холодную часть года (1992–1994 гг.) в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Матрицы сопряженности альтернативных прогнозов скорости ветра ($V_{шт} \geq 12$ м/с). Псков, 1992 – 1994 гг., $\tau = 24$ ч

Методические прогнозы	Инерционные прогнозы
$\begin{vmatrix} 39 & 14 & 53 \\ 56 & 423 & 479 \\ 95 & 437 & 532 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 21 & 32 & 53 \\ 32 & 447 & 479 \\ 53 & 479 & 532 \end{vmatrix}$

Задание экстремумов ошибочности $\delta(n_{12}) = \pm 0.75$ и $\delta(n_{21}) = \pm 0.75$ позволяет получать матрицы сопряженности методических прогнозов следующего содержания:

$$\begin{vmatrix} 28 & 25 & 53 \\ 98 & 381 & 479 \\ 126 & 403 & 532 \end{vmatrix}, \quad \delta(n_{12}, n_{21}) = 0.75$$

$$\begin{vmatrix} 50 & 3 & 53 \\ 14 & 465 & 479 \\ 64 & 468 & 532 \end{vmatrix}, \quad \delta(n_{12}, n_{21}) = -0.75$$

Матрица сопряженности инерционных прогнозов не может иметь такого рода ошибочность.

Прогнозы используются указанным выше потребителем, матрица потерь которого следующая:

$$s_{ij} = \begin{vmatrix} 26.7 & 60.0 \\ 26.7 & \end{vmatrix} \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{прогноз}} \quad (\text{в ценах 1980 г.})$$

$$s_{ij} = \begin{vmatrix} 186.9 & 420 \\ 186.9 & 0 \end{vmatrix} \frac{\text{млн. руб.}}{\text{прогноз}} \quad (\text{в ценах 1997 г.})$$

Стоимостной эквивалент устанавливается простым допущением $(s_{ij}) [= \text{млн. руб./прогноз}_{(1997)}] \approx (s_{ij}) [= \text{тыс. руб./прогноз} \times 7 \cdot 10^3_{(1980)}]$.

Результаты расчетов экономического эффекта \mathcal{E} и экономической эффективности P при различных ε и δ приведены на рис. 2.7.

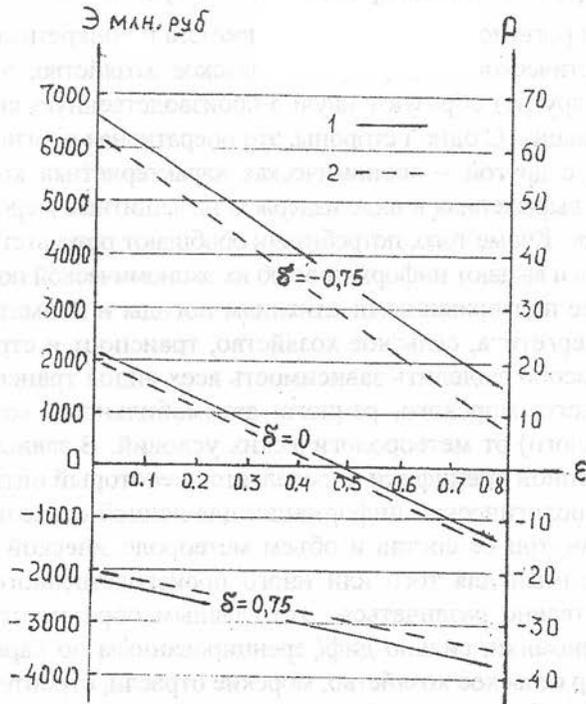


Рис. 2.7. Выбор оптимальных условий использования прогнозов (δ , ε) на базе оценки экономического эффекта (1) и экономической эффективности (2).

Как видим, для выбранного потребителя (строительные организации, Псковская область) оптимальной следует считать стратегию ориентации на оперативные прогнозы (см. табл. 2.6) только в том случае, если $\varepsilon \leq 0,5$ при $\delta = 0$.

В случае снижения числа ошибочных прогнозов (n_{12} и n_{21}) на 75% они будут оптимальны для всех ε .

Использование прогнозов скорости ветра убыточно для данного потребителя при всех ε , если ошибочность их увеличивается на 75% относительно исходного условия ($\delta = 0$).

3. Оптимальные погодо-хозяйственные решения в отдельных отраслях народного хозяйства

3.1. Потребители метеорологических прогнозов

Служба прогнозов в системе Росгидромета и конкретные потребители прогностической информации (сельское хозяйство, энергетика, транспорт и другие) образуют научно-производственную систему потоков информации. С одной стороны, это оперативная прогностическая информация, с другой – экономическая характеристика конкретного потребителя, выраженная в виде издержек на защитные мероприятия и прямых потерь. Кроме того, потребители обобщают результаты реализации прогнозов и выдают информацию об их экономической полезности.

Наиболее подверженными влияниям погоды и климата являются электроэнергетика, сельское хозяйство, транспорт и строительство. Следует особо выделить зависимость всех видов транспорта (железнодорожного, морского, речного, автомобильного, воздушного, трубопроводного) от метеорологических условий. В зависимости от производственной специфики определяется некоторый оптимальный состав метеорологической информации для данной отрасли хозяйства. Однако внутри ее состав и объем метеорологической информации, необходимый для того или иного производственного участка, могут существенно различаться. Это главным образом относится к отраслям экономики, сильно дифференцированным по характеру работ, например сельское хозяйство, морские отрасли, строительство.

Все многообразие потребителей можно разделить на *три класса* в зависимости от производственного эффекта, полученного при использовании прогнозов.

1. Потребители, ориентирующиеся главным образом на предотвращение прямых потерь, связанных с разрушением, затоплением и т.п. Например, заблаговременные меры защиты судов в морском порту Новороссийск, многочисленных предприятий города и его коммунального хозяйства от ураганного ветра – боры.

2. Потребители, ориентирующиеся на сокращение эксплуатационных затрат. Это может быть сокращение трудовых ресурсов, сокращение времени выполнения того или иного вида работ, сокращение рас-

хода энергоресурсов, материалов и др. К таким потребителям относятся все виды транспорта, энергосистемы, коммунальное хозяйство.

3. Потребители, ориентирующиеся на получение дополнительной продукции. Это в основном сельское и лесное хозяйство, рыбопромысловый флот, отрасли хозяйства, связанные с добычей полезных ископаемых.

Краткая характеристика влияния основных гидрометеорологических условий на различные отрасли экономики дана в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Характеристика влияния гидрометеорологических условий на некоторые отрасли экономики

Отрасль	Влияющие гидрометеорологические характеристики и явления погоды	Последствия от воздействия неблагоприятных гидрометеорологических условий
1	2	3
Энергетика Энергетические системы	Температура воздуха, облачность (естественная освещенность) Грозы Гололед	Изменение режима потребления электроэнергии по заданной территории. Электрическое перенапряжение, возникающее в момент грозных разрядов, приводит к разрушению или порче распределительных устройств ЛЭП. Обрыв проводов ЛЭП; намерзание мокрого снега, ветер – поломка опор; потери электроэнергии на корону.
Сети теплоснабжения (ТЭЦ, ГРЭС и др.)	Температура воздуха и ветер	Нарушение запланированного ТЭЦ оптимального отпуска тепла и объемов топлива на отопительный сезон.
Добыча полезных ископаемых Нефте- и газопромислы	Сильный, ураганный ветер Грозы Гололед, ветер	Разрушение, повреждение сооружений или оборудования на площадках. Прекращение работ по укладке нефте- и газопроводов. Осложняется добыча нефти в морских условиях. Возможны пожары. Обрывы электросетей; поломки опор и других конструкций; прекращение работ.

1	2	3
<p>Торфоразработки</p> <p>Добыча угля в открытых горных карьерах</p> <p>Сельское хозяйство</p> <p>Земледелие</p> <p>Животноводство (отгонное)</p> <p>Транспорт</p> <p>Морской</p>	<p>Дожди в летний период</p> <p>Сильный ветер в засушливую погоду</p> <p>Туманы в карьере (в основном в холодную часть года)</p> <p>Длительные морозы</p> <p>Снег на непромерзшей почве</p> <p>Ледяная корка</p> <p>Талье воды в низинах</p> <p>Заморозки (осенние и весенние)</p> <p>Сильный ветер; песчаные, пыльные бури</p> <p>Длительные дожди</p> <p>Засуха</p> <p>Снежный покров выше 20 см.</p> <p>Ледяная корка толщиной 1 см и более</p> <p>Определенное сочетание температуры воздуха и скорости ветра; метель; туман</p> <p>Сильный ветер и волнение</p> <p>Туман</p> <p>Обледенение</p>	<p>Нарушение технологии работ; порча продукции; прекращение работ.</p> <p>Опасность пожаров; прекращение работ.</p> <p>Загазованность; прекращение работ.</p> <p>Вымерзание озимых; гибель части садовых культур.</p> <p>Выпревание озимых.</p> <p>Вымерзание озимых.</p> <p>Вымокание озимых.</p> <p>Повреждение сельхозпродукции; повреждение рассады овощных культур.</p> <p>Полегание зерновых; песчаные заносы сельскохозяйственных угодий.</p> <p>Потери урожая зерновых и овощных культур.</p> <p>Потери урожая и гибель сельхозкультур на обширных территориях, что сопровождается максимальными убытками в сельском хозяйстве.</p> <p>Выпас скота невозможен.</p> <p>Угроза бескормицы; массовое травмирование</p> <p>Выпас скота ограничен или вовсе невозможен</p> <p>Снос судна; потеря скорости; увеличение расхода топлива; слемминг; ухудшение управляемости; смещение грузов и др.</p> <p>Прекращение в порту погрузо-разгрузочных работ.</p> <p>Потеря скорости; возможная приостановка плавания.</p> <p>Увеличение массы судна; потеря остойчивости.</p>

1	2	3
Речной	Сильный тягун	Погрузо-разгрузочные работы невозможны. Швартовы непрерывно рвутся. Суда немедленно отводятся на внешний рейд.
Железнодорожный	Сильный ветер и волнение	Потеря скорости; снос судна; возможна потеря управляемости и посадка на мель. Прекращение в порту погрузо-разгрузочных работ.
	Ухудшение видимости (туман, снег, осадки).	Потеря скорости; повышенная вероятность столкновения.
	Снегопады, метели	Частичная приостановка или полное прекращение маневровых, сортировочных и других видов работ.
Авиация	Низкая температура воздуха (-25°C и ниже).	Замерзание грунтовых вод (вспучивание грунта); разрыв стыков рельс; увеличение вязкости колесной смазки, что ведет к перерасходу топлива.
	Высокая температура воздуха (25°C и выше).	Выброс рельс
	Высокая температура и сильный ветер	Провисание и возможный обрыв проводов.
Автомобильный	Низкая облачность, видимость плохая.	Затрудняется или становится невозможным взлет и посадка.
	Ветер на ВПП (определенных направлений).	Возможен боковой снос самолета.
	Снегопады, метель	Потеря скорости; простой
Строительство	Низкие температуры воздуха (-25°C).	Ухудшается работа механизмов автотранспортных средств.
	Длительные осадки	Ухудшается проезжаемость дорог.
	Гололедица, туман	Резко возрастает опасность дорожно-транспортных происшествий.
Лесное хозяйство.	Сильный ветер.	Возможное повреждение и разрушение строительномонтажного оборудования и самого объекта строительства.
	Засуха.	Пожары.

Здесь приведена лишь общая характеристика последствий влияния погоды, оценка которых обычно выражается в денежном или натуральном измерении. Эффективное использование метеорологических ресурсов и в особенности прогнозов погоды предполагает, что между поставщиком и потребителем сложились экономически выгодные отношения, обеспечивающие конечную цель – создание условий, при которых производство несет минимум потерь по метеорологическим причинам.

Совместная деятельность поставщика и потребителя должна предусматривать следующие этапы.

1. *Дифференциация прогнозов* по отдельным видам (группам) производственных работ в данной отрасли. Необходима разработка специализированных прогнозов, более полно учитывающих специфику выполняемых работ.
2. *Уточнение содержания и формы представления прогнозов* с привлечением компьютерной техники и современных средств передачи информации.
3. *Разработка возможных аппроксимаций* зависимостей последствий поведения потребителей от условий погоды – разработка *функций полезности* (потерь, доходов, расходов).
4. Выполнение сезонных (сезонно-производственных) полугодовых или иных *обобщений хода реализации прогнозов*.
5. Внедрение методов *оптимального* использования прогнозов при постоянном контроле качества прогностической информации.
6. Оценка показателей *экономической полезности* (экономического эффекта, экономической эффективности и адаптации потребителя к ожидаемым условиям погоды).

Потребители постоянно ощущают возрастающую ценность прогнозов. Однако нередко дело ограничивается лишь пониманием этого. Более того, еще прослеживаются толкования о прогнозах как об информации малозначимой в производстве. В действительности это не так. Ведь оказались же несостоятельными утверждения о «метеорологической автономности» и «всепогодности» некоторых видов производства, транспорта (авиации) и др. *Рост технической оснащенности потребителя сопровождается увеличением зависимости его от условий погоды*. Бесхозяйственное в ряде случаев отношение к прогнозам – следствие отсутствия не только доступных метеоро-

логических знаний, пристальной заботы о сохранении материальных ценностей, но и правовых основ.

Потребитель обязан знать, что прогноз – это повседневный научный продукт, предназначение которого не ознакомительная информативность, а исторически естественно сложившийся запрос общественного производства. Каждый единичный прогноз – результат огромных затрат людских, научных, материальных и финансовых ресурсов, которые выходят далеко за пределы прогностического подразделения.

Потребитель должен учитывать, что сконцентрированная в прогнозах информация требует не просто обязательной компенсации затрат, а многократно большего возврата их в любой материальной форме уже в недрах народного хозяйства. Материализация прогностической информации – задача потребителей и службы прогнозов.

Потребителю следует решать и еще одну проблему. До начала формирования гидрометеорологического рынка в нашей стране все потребители получали прогностическую продукцию бесплатно. Потребители не могли работать без прогнозов, но не могли и платить за них. Государственная гидрометеорологическая служба и отраслевая экономика функционировали в единой монопольной системе, по-сильно обеспечивающей общегосударственные интересы. Потребитель был поставлен в двойное выгодное условие: и прогнозы, и госстрах оставались для него неоплаченным долгом.

В настоящее время часть гидрометеорологической продукции реализуется по так называемым *договорным ценам*. Такой вариант назначения цены носит паллиативный характер и в сущности не решает *проблему ценообразования* на прогностическую продукцию. В этом случае цена как мера оплаты выполняет функцию консервативного «эквивалента» потребительской стоимости. Действительная эквивалентность не выполняется даже приближенно.

Особенность прогностической продукции заключается в том, что ее себестоимость относительно стабильна, а *ресурсная полезность* сильно меняется. В зависимости от сложности синоптических процессов, «опасности» погодных условий и уровня успешности прогнозов потребитель *получает выгоды, на два-три порядка превышающие себестоимость* конкретного вида прогнозов, особенно предупреждений об ОЯ.

В договорных ценах полезность метеорологических прогнозов по непонятным причинам исключается. Возможно, это связано с

простотой достижения цели. К себестоимости $A_{\text{пр}}$ прибавляется договорная (коммерческая) цена в виде добавки $D_{\text{пр}}$ и задача считается решенной. Формально это выглядит предельно просто.

$$C_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} + D_{\text{пр}}. \quad (3.1)$$

В действительности величина $C_{\text{пр}}$ должна отражать не субъективную оценку доли $D_{\text{пр}}$ от $A_{\text{пр}}$, а численную меру добавочной стоимости как функцию экономической полезности прогнозов – экономического эффекта (\mathcal{E}) или экономической эффективности (P). Показатели экономической полезности (\mathcal{E} , P) могут рассчитываться на каждый месяц, сезон или производственный период (навигацию, отопительный сезон, период уборки урожая в сельскохозяйственном производстве и т.п.). Цена прогнозов должна выражать долю от их экономической полезности, т.е. в качестве ценового показателя должна выступать полезностная стоимость $A(\mathcal{E})_{\text{пр}}$, а не себестоимость $A_{\text{пр}}$. Предметом обсуждения с конкретным потребителем будет величина α в формуле общего вида

$$C_{\text{пр}} = A(\mathcal{E})_{\text{пр}} = \alpha \mathcal{E}_0. \quad (3.2)$$

Если учесть, что потребитель тратит средства на защитные мероприятия в C единиц стоимости, то, исключив эту долю затрат, получим *чистую прибыль*, доставляемую потребителем за счет методических прогнозов в виде

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E} - C(n_{11} + n_{21}) = \mathcal{E} - Cn_{01}. \quad (3.3)$$

Величина α может меняться в зависимости от вида прогноза (предупреждение, специализированный, общего пользования) и степени зависимости потребителя от воздействующего метеорологического фактора.

3.2. Метеоролого-экономическая характеристика природопользования

Проблема использования природных ресурсов, казалась бы, выглядит довольно просто: следует *знать* эти ресурсы, *рационально* их использовать, *не нанося* вреда окружающей среде и здоровью человека. Однако подобная мотивация лежит только на поверхности. В сущности проблема природопользования значительно сложнее. Степень сложности возрастает еще и потому, что естественным спутни-

ком использования природных ресурсов стало загрязнение окружающей среды. Под угрозой «разрушения» оказались биосфера и здоровье человека.

Гидрометеорологические ресурсы имеют свою специфику и их использование обусловлено иными производственными причинами.

Уже отмечалось, что *гидрометеорологическая информация* представляет собой *природные ресурсы* особого рода, поскольку она описывает состояние гидрометеорологической среды как необходимого и общепризнанного фактора развития экономики.

В интересах производства широко используется гидрометеорологическая (метеорологическая) среда, что и следует рассматривать как *гидрометеорологическое (метеорологическое) природопользование*, как элемент общего природопользования. Метеорологическое природопользование охватывает область таких приложений метеоинформации, как *энергетические, климатические, агрометеорологические, прогностические, текущие сведения о погоде*.

Метеорологическая информация приобрела статус *универсального природного ресурса*. Это необходимый элемент жизнедеятельности и жизнеобеспечения. Особое место эта информация занимает в решении экономических проблем. Она входит в число основных расчетных параметров при выборе оптимального производственного плана, проекта сооружения, маршрута движения и иных хозяйственных мероприятий, связанных с метеорологическими условиями.

Метеорологическое природопользование требует научно-практического решения ряда задач в интересах оптимального использования всех видов метеорологической информации и прежде всего таких, как:

1) *оптимизация использования климатических ресурсов* в долгосрочном, общегосударственном планировании, в общенациональных проектах (экономических, социальных, специальных), а также в разработке региональной экономической политики;

2) *оптимизация использования прогностических ресурсов* во всех отраслях экономики в целях сбережения, экономии материальных и трудовых ресурсов, топлива, электроэнергии; получения дополнительной продукции в различных отраслях народного хозяйства (электроэнергии, урожая, морепродуктов и др.); предотвращение убытков от стихийных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды.

Обеспечение запросов практики данными о климате и особенностях погоды в отдельных регионах позволило успешно решать многие проектные, конструкторские, технические и оперативные хозяйственные задачи. Особая роль при этом отводится прогнозам погоды. В табл. 3.2, 3.3 дана оценка спроса на метеорологическую информацию.

Таблица 3.2

Распределение спроса на различные виды метеорологической информации.
По М.З. Шаймарданову и А.А. Коршунову

Информация	Спрос, %
Фактическая погода и прогнозы	42.4
Агрометеорологическая	8.5
Морская метеорологическая	5.1
Морская судовая	3.9
Аэрологическая	3.0
Авиационная метеорологическая	2.6
Радиолокационная	1.8

Как видим, фактические данные о погоде находят большой спрос в хозяйственной практике страны. Наибольший спрос приходится на оперативную прогностическую и текущую гидрометинформацию (см. табл. 3.3).

Таблица 3.3

Распределение (%) используемых видов гидрометинформации по отраслям экономики

Отрасль	Вид информации		
	климатическая	прогностическая	текущая
Сельское хозяйство	23.0	58.0	64.0
Строительство	61.0	9.0	12.0
Энергетика	9.0	11.0	10.0
Транспорт			
железнодорожный	3.0	11.0	9.0
автомобильный	4.0	11.0	5.0

Природные ресурсы прогностического характера, ежедневно разрабатываемые в прогностических подразделениях страны, используются в интересах снижения потерь от неблагоприятных метеорологических условий и оптимизации выполнения производственных работ. Для достижения этого необходимо решение ряда ме-

теоролого-экономических задач, охватывающих метеорологическую область природопользования. Они сводятся к следующим.

1. Оценка чувствительности (степени подверженности) производственного объекта к воздействию метеорологическому фактору. В качестве *показателя чувствительности* может быть использовано простое соотношение

$$\Psi = \frac{I_0}{n_0} \text{ (млрд. руб./случай)}, \quad (3.4)$$

где I_0 – общие прямые потери потребителя при неблагоприятных условиях погоды, n_0 – число возможных таких условий погоды. Здесь, как видим, не рассматривается интенсивность неблагоприятных погодных условий и их продолжительность, что может быть предметом дополнительного исследования.

Оперативная работа системы Росгидромета с потребителями прогностической информации показывает, что от условий погоды наиболее сильно зависят топливно-энергетический комплекс, сельское и лесное хозяйство, транспорт, строительство и коммунальное хозяйство. На эти шесть отраслей приходится почти 100 % прямого ущерба, причиняемого экономике погодными условиями. Расчеты по формуле (3.4) показывают, что наиболее уязвимыми с точки зрения влияния погоды являются (в порядке убывания): сельское хозяйство ($\Psi = 82.08$ млрд. руб./494 = 0.166), коммунальное хозяйство ($\Psi = 0.040$ при $n_0 = 304$), топливно-энергетический комплекс ($\Psi = 0.027$ при $n_0 = 505$). Степень уязвимости автомобильного и железнодорожного транспорта оценивается в $\Psi = 0.019$ при $n_0 = 606$.

2. Ранжировка потребителей по степени чувствительности к погодным условиям и уточнение специализированной прогностической информации в целях более точной расстановки значимости потребителей в метеорологическом обеспечении и коммерциализации метеорологической продукции.

3. Назревает необходимость перевода метеорологического обеспечения, выраженного информацией об ожидаемом состоянии погоды, с экстенсивного на *интенсивный* путь. Это связано с тем обстоятельством, что в ближайшем будущем успешность метеорологических прогнозов достигнет некоторого уровня стабилизации. Экстенсивный путь развития, эффективность которого определялась

за счет роста успешности прогнозов, в перспективе будет исчерпан. Полезность прогностической информации уже сейчас должна в значительной степени зависеть от технологии реализации прогнозов, что требует новых совместных (потребителя и поставщика) поисков решения проблемы, которое возможно на пути разработок и внедрения в хозяйственную практику метода оптимизации прогнозов. Для этого применяются «решающие правила», минимизирующие потери в соответствии с целевой функцией. Здесь возможно принятие оптимальных решений в следующих производственных ситуациях:

– при планировании и рациональном размещении народно-хозяйственных объектов на основе климатической и региональной информации;

– в случае планирования мероприятий на основе месячных и сезонных метеорологических прогнозов;

– в процессе выполнения оперативных производственных мероприятий, причем для этих целей используются краткосрочные прогнозы и предупреждения об опасных явлениях погоды;

– в периоды корректировки планов и технологических процессов на основе уточнения прогнозов или последовательного их представления на короткие периоды.

Эффективность природопользования как составной части производства предполагает не только рациональное использование базовых невозполнимых ресурсов, но и умелое ведение хозяйства, в постоянно меняющихся гидрометеорологических условиях.

3.3. Оптимизация как достижение метеоролого-экономической цели

С позиции хозяйственных задач «оптимальный» – значит наилучший, наиболее благоприятный, в большей мере отвечающий решению данной задачи. Если производственные, хозяйственные задачи решаются с учетом метеорологического фактора, то достижение цели возможно, если оптимизируется управляемая экономическая система в условиях неуправляемой погоды. Это и есть метеоролого-экономическое обоснование выбора такого пути решения хозяйственной задачи, который обеспечивает его достижение с наименьшими издержками или с наилучшими показателями.

Термин «оптимизация» отражает такое *поведение потребителя метеорологической информации*, которое можно рассматривать как единственно верное с позиции оптимального управления. Математически это означает отыскание экстремумов функционалов на решениях уравнений, описывающих как управляемый объект, так и процесс управления, на котором реализуется экстремум. Поиск экстремумов может осуществляться на базе линейного и динамического (теория Беллмана) программирования. Возможно использование других методов как в статистических, так и в динамических задачах поиска экстремумов.

Метеорологическая информация только тогда становится ресурсной продукцией, если используется при принятии конкретных народнохозяйственных решений. Экономически оптимальные решения в конечном счете вырабатываются потребителем. Однако без помощи метеоролога (синоптика) такого рода научные разработки малоэффективны. Действительно, как уже показано, использование климатических значений, как правило, не может быть оптимальным. В то же время могут быть случаи, когда все же можно выбрать климатологическую оптимальную стратегию, при которой долгосрочные мероприятия потребителя окажутся выгодными. Однако во многих отраслях производства использование климатологических стратегий неприемлемо. Более эффективной является прогностическая информация. Хотя и стратегия слепого доверия прогнозу не обеспечивает максимальную выгоду. Поэтому требуется разработка такой стратегии, которая для *данного потребителя* при всей его известной специфике позволяет выбрать лучшее технологическое (производственное) решение, обеспечить безопасность выполнения задачи и извлечь максимальную выгоду. *Это и будет оптимальное решение на основе учета прогнозов.* Такого рода экономико-метеорологическая процедура в значительной степени позволит уменьшить потери, тем более, что ущерб от опасных и стихийных гидрометеорологических явлений постоянно растет и в мире составляет уже 50–60 млрд. долл. США в год.

Огромные потери, которые несет народное хозяйство при неблагоприятных условиях погоды, вынуждают потребителей использовать метеорологические прогнозы и не полагаться на собственную интуицию и опыт.

Согласно данным исследований, выполненных в РГГМУ и других научно-исследовательских учреждениях, наиболее значительные прямые потери из-за метеорологических условий несут строительные и морские организации, а также организации, ведущие открытую добычу полезных ископаемых. В табл. 3.4 приведены затраты на предупредительные меры и прямые потери, которые являются элементами матриц потерь при альтернативном (двухфазовом) принятии хозяйственных решений.

Таблица 3.4

Затраты на предупредительные меры C , прямые потери L
и их отношения C/L для ряда потребителей.
По данным за 70-е и 80-е годы

Потребитель	Неблагоприятное явление погоды	C тыс. руб./ прогноз	L тыс. руб./ прогноз	C/L
«Ростовэнерго», ЛЭП Коркино, угольный карьер Совхоз «Красногорский» (100 га)	Гололед	0.45	1.46	0.308
	Туман	25	100	0.25
	Заморозки	1.5	30.7	0.05
Казахстан, период уборки зерновых (100 га)	Осадки	1.0	3.0	0.33
Куганская область, период уборки зерновых (100 га)	Сильный ветер, осадки	0.28	0.68	0.41
Москва, автотранспорт	Сильный снегопад	0.48	34.5	0.01
Таллинн				
морской порт (погрузо-разгрузочные работы)	Осадки, сильный ветер	0.19	1.1	0.17
морской торговый порт	Осадки (≥ 0.3 мм)	2.3	13.2	0.17
рыбный порт	То же	3.8	20.6	0.18
Владивосток, морской порт	Сильный ветер	11.0	35.1	0.31
Финский залив, суда на подводных крыльях типа «Метеор»	То же	20.2	81.0	0.25
Амдерма, транспортные операции в Обской губе	“	14.4	210.5	0.07
Клайпеда, морской рыбный порт	“	9.35	64.0	0.15
Камчатское рыбопромышленное (межколхозное) объединение	“	18.2	168.5	0.11
Лиепая, морской порт	“	6.3	90.2	0.07
Рига, морской порт	“	7.5	30.0	0.25

Потребитель	Неблагоприятное явление погоды	<i>C</i> тыс. руб./ прогноз	<i>L</i> тыс. руб./ прогноз	<i>C/L</i>
Рыбачье, Иссык-Кульское пароходство	Сильный ветер	0.2	3.2	0.06
Севзапрыбпром (СРТ, Финский залив)	То же	4.0	16.2	0.25
Аэропорт Пулково	Высота нижних облаков, видимость	1.4	3.2	0.44
Самара, строительные организации:				
Трест № 11	Сильный ветер	56.1	119.0	0.47
Промстрой	То же	69.9	146.2	0.48
ДСК	“	127.2	266.7	0.48
Комбинат «Печоршахтстрой»	Сильный ветер, низкая температура воздуха	27.9	75.5	0.37
	Сильная метель	36.4	99.2	0.37
Караганда, строительные организации				
Промстрой	Сильный ветер	86.4	173.9	0.50
Карагандажилстрой	То же	164.2	330.4	0.50
Шахтострой	“	12.6	26.1	0.48
Курск, «Курсктяжстрой»	“	22.7	79.0	0.29
Таллинн, Управление механизации	“	10.5	16.6	0.63
Беларусь, строительные организации	“	26.7	60.0	0.45
Лесное хозяйство (ЕТС)	Высокая температура воздуха, влажность	6.1	15.6	0.39

Итак, в табл. 3.4 мы привели 31 матрицу потерь, которые получены при ориентации потребителя на краткосрочные прогнозы. На основании этих данных можно сделать некоторые предварительные заключения. В случае если меры защиты не применялись, а явление наблюдалось (явление синоптиком пропущено или полное отсутствие прогнозов), средние потери *L* в отдельных отраслях из расчета на один случай (прогноз) составят в сельском хозяйстве примерно 11.5 тыс. руб./100 га (среднее значение $C/L = 0.26$); для морских организаций 60.3 тыс. руб. (среднее значение $C/L = 0.18$); для строительных организаций 137.6 тыс. руб. (среднее значение $C/L = 0.46$); для авиации 3.2 тыс. руб. (среднее значение $C/L = 0.44$)

Как отмечалось, оптимизация использования прогнозов позволяет максимально возможно предотвратить потери $s_{12}(1-\varepsilon)$. В различных отраслях экономики предотвращение потерь обусловлено спецификой технологии защиты ε . Рассмотрим, к примеру, некоторые сведения табл. 3.5, в которой представлены численные значения ежегодных суммарных и предотвратимых потерь (млн. долл.) по метеорологическим причинам. Используя значения s_{12} и $s_{12}(1-\varepsilon)$, дополнительно рассчитали отношение $s_{12}(1-\varepsilon)/s_{12} = (1-\varepsilon)$, что позволяет установить ориентировочные значения ε .

Таблица 3.5

Прямые и предотвратимые потери (США) в млн. долл.
по данным за 70-е годы. По Дж. Томпсону

Отрасль	Прямые потери s_{12}	Предотвратимые потери $s_{12} - \varepsilon s_{12}$	Эффектив- ность защиты $1 - \varepsilon$	Коэффициент предотвращен- ных потерь ε
Сельское хозяйство	8240.4	3554.2	0.431	0.569
Коммунальное хозяйство	1057.8	2531.8	0.418	0.582
Строительство	998.0	328.6	0.329	0.671
Электроэнергетика и связь	21.3	128.2	0.166	0.837
Наземный транспорт	96.3	45.8	0.476	0.524
Авиация	92.4	56.9	0.616	0.384

Как видим, ежегодные суммарные потери от неблагоприятной погоды в США составляют около 12.7 млрд. долл. Ущерб на сумму около 5.3 млрд. долл. удается предотвратить, т.е. около 42 %. Потери по метеорологическим причинам в 60-е годы, как отмечает Дж. Томпсон, были предотвращены только на 2–6 %, а уже через 10–20 лет предотвращенные потери возросли примерно на порядок.

Однако еще сохраняются значительные потери по метеорологическим причинам. В одной из работ, выполненных в Росгидромете, приводятся достаточно показательные сведения, отражающие ущерб и степень зависимости потребителей от стихийных гидрометеорологических явлений (СГМЯ) (табл. 3.6.) по территории России.

Таблица 3.6

Распределение ущерба от СГМЯ по отраслям экономики.
По А.А. Коршунову, В.В. Пуговкину, М.З. Шаймарданову

Отрасль экономики	Число случаев СГМЯ, 1986–1991 гг.	Средний ущерб, млрд. руб.	Интегральная оценка степени зависимости		Ранжировка (ранг)
			млрд. руб.	%	
Сельское хозяйство	494	82.08	40547.52	100 (1.000)	1
Топливно-энергетический комплекс	505	13.68	6908.40	17.0 (0.1704)	3
Коммунальное хозяйство	304	12.24	3720.96	92 (0.0918)	4
Транспорт (автомобильный и железнодорожный)	606	11.52	6981.12	17.2 (0.1722)	2
Строительство	77	9.36	720.72	1.8 (0.0178)	5
Лесное хозяйство	133	4.32	488.16	1.2 (0.0120)	6

Согласно данным табл. 3.6, общие потери по относительно ограниченному числу отраслей вследствие недостаточного учета метеорологической информации и недостаточной эффективности защитных мер составили около 59 млрд. руб. за 6 лет (1986–1991 гг.), или 9.83 млрд. руб. за год, что в пересчете на 1998 г. составит примерно

$$9.83 \cdot \frac{10^4(1997 \text{ г.})}{10^3(1998 \text{ г.})} = 98.3 \text{ млрд. руб./год}$$

Ранжировка потребителей по размеру ущерба показывает степень их зависимости от погодных условий и необходимость более тщательного специализированного метеорологического обеспечения.

Достаточно полная информация о потерях, которые несет народное хозяйство по метеорологическим причинам, приведена в ряде отечественных и зарубежных работ. Отметим лишь одну характерную особенность. С 1963 по 1975 г. ущерб такого рода в народном хозяйстве бывшего СССР изменился от 5.3 до 9.3 млрд. руб. Таким образом, за период с 1963 по 1991 г., т.е. за 28 лет, потери несколько возросли, что отвечает общей тенденции роста ущерба в

мировой экономике за счет неблагоприятных гидрометеорологических условий и стихийных бедствий в особенности.

Использование гидрометеорологических прогнозов, как уже неоднократно отмечалось, может быть полезно только в том случае, если потребитель отводит этой информации, как природному ресурсу, столь же важную роль, как и любым иным вещественным компонентам современного производства. Это есть необходимое условие поиска оптимальных путей погодо-хозяйственных решений и достижения задачи реализации прогнозов в деле.

Материализация оптимальных решений и стратегий использования прогнозов, т.е. применение их в хозяйственной практике, дает значительный экономический эффект. На рис. 3.1 показан экономический эффект от использования гидрометеорологических прогнозов в 1993 г., который получили такие отрасли экономики, как морской флот, строительство, агропромышленный и топливно-энергетический комплексы.

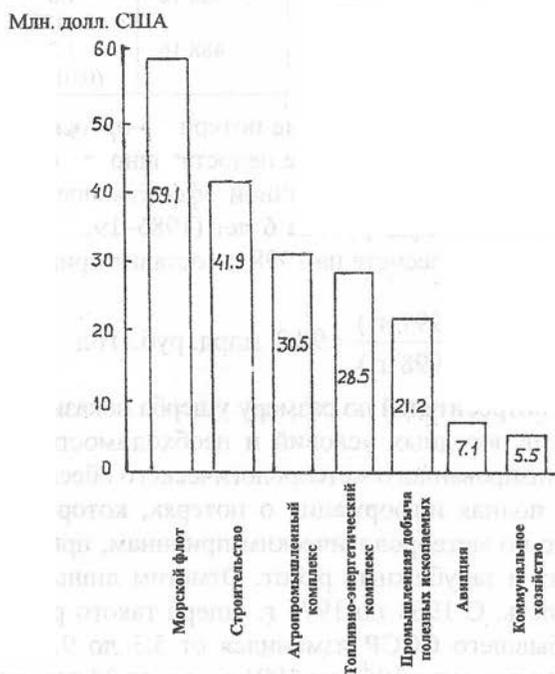


Рис. 3.1. Экономический эффект от использования гидрометеорологической информации в различных отраслях экономики России в 1993 г. По А.И. Бедрицкому.

По расчетам УГМС экономический эффект от гидрометобеспечения в 1995 г. составил 1051.6 млрд. руб. По отдельным отраслям: в топливно-энергетическом комплексе около 274 млрд. руб., в строительстве примерно 218 млрд. руб., в сельском хозяйстве 185 млрд. руб., на морском и речном флоте 113 млрд. руб., в авиации 95 млрд. руб., на автомобильном и железнодорожном транспорте 75 млрд. руб. Заблаговременный учет гидрометинформации позволяет предотвратить до 46 % убытков в строительстве, до 20 % в морском флоте, около 40 % в авиации, до 20 % в сельском хозяйстве.

В течение последних десятилетий (60-е–90-е годы) предпринимались попытки установить соотношение средств, затраченных на национальные гидрометеорологические службы, и выгоды, получаемой экономикой от использования гидрометеорологической информации. Так, обобщение исследований Дж. Гиббса, Р.М. Уайта, Б.Дж. Мейсона, Е.И. Толстикова, Ж.Л. Джованелли, приведенное в табл. 3.7, показывает, что это отношение колеблется в широких пределах.

Таблица 3.7

Превышение ежегодной выгоды от деятельности гидрометслужб над бюджетным расходом по данным за 1966–1967 гг.

Страна	Во сколько раз полученная выгода превышает бюджет гидрометслужбы
Австрия	27
Франция	20
Великобритания	20
СССР	4–5
ФРГ	4

Материалы, представленные на последней конференции по экономической эффективности метеорологического и гидрологического обслуживания (Женева, 1994 г.), убедительно говорят в пользу общенациональных достижений гидрометслужбы. В глобальном масштабе бюджеты национальных метеорологических и гидрологических служб составляют примерно 4 млрд. долл. США, в то время как приносимая ими выгода колеблется в пределах 20–40 млрд. долл. США. В последние годы это отношение в разных странах заметно различается. Так, в Китае в начале 80-х годов оно менялось в пределах от 1:15 до 1:20, а в 1993 г. – 1:39.

В России в 90-е годы это отношение колеблется в пределах от 1:7 до 1:15.

3.4. Некоторые особенности оперативных погодо-хозяйственных решений в рамках гидрометеорологического природопользования

Выделим несколько положений, относящихся к *организации регламента* принятия погодо-хозяйственных решений и осуществления его на практике.

1. Условия перехода к более высокой дискретности регламента

Повышение экономической полезности прогнозов, связанное с ростом их успешности, имеет все меньший прирост в связи с естественным процессом стабилизации качества прогнозов. Если в 20-е–30-е годы успешность оперативных прогнозов погоды в России не существенно преобладала над успешностью инерционных прогнозов, то в наше время преимущество их бесспорно (рис. 3.2). Неоспоримым фактом остается и то, что замедление повышения успешности требует от потребителей иных подходов к выгодной реализации прогнозов. Польза от повышения успешности прогнозов сохраняется, но вес этого столь дорогостоящего фактора будет снижаться.

Простая схема использования прогнозов типа «получил из Гидрометцентра, передал на объекты» себя изжила. Требуется разработка новой, современной технологии использования прогнозов. Необходим переход к оптимальному использованию метеорологических прогнозов, что позволит получить максимальную выгоду. При этом возможны два подхода.

Первый подход сложился в практике большинства потребителей и содержит самый простой регламент решений $\Omega_d = 2$. Символ Ω_d означает множество *погодо-хозяйственных решений* d , образующих регламент (порядок, свод, совокупность правил) поведения, что рассматривалось уже в п. 1.6. Оптимизация прогнозов при таком регламенте, имеющем только два решения типа «да» – «нет», конечно, обеспечивает хозяйственный выигрыш, но лишь на уровне начального отсчета полезности.

Второй подход заключается в том, что уже на сегодня потребитель может иметь регламент более высокого порядка $\Omega_d > 2$ (три погодо-хозяйственных решения и более). Реализация его позволяет потребителю извлечь большую пользу, чем это возможно в случае простой альтернативы. Более высокая дискретность регламента решений является важнейшим условием перехода к оптимальному

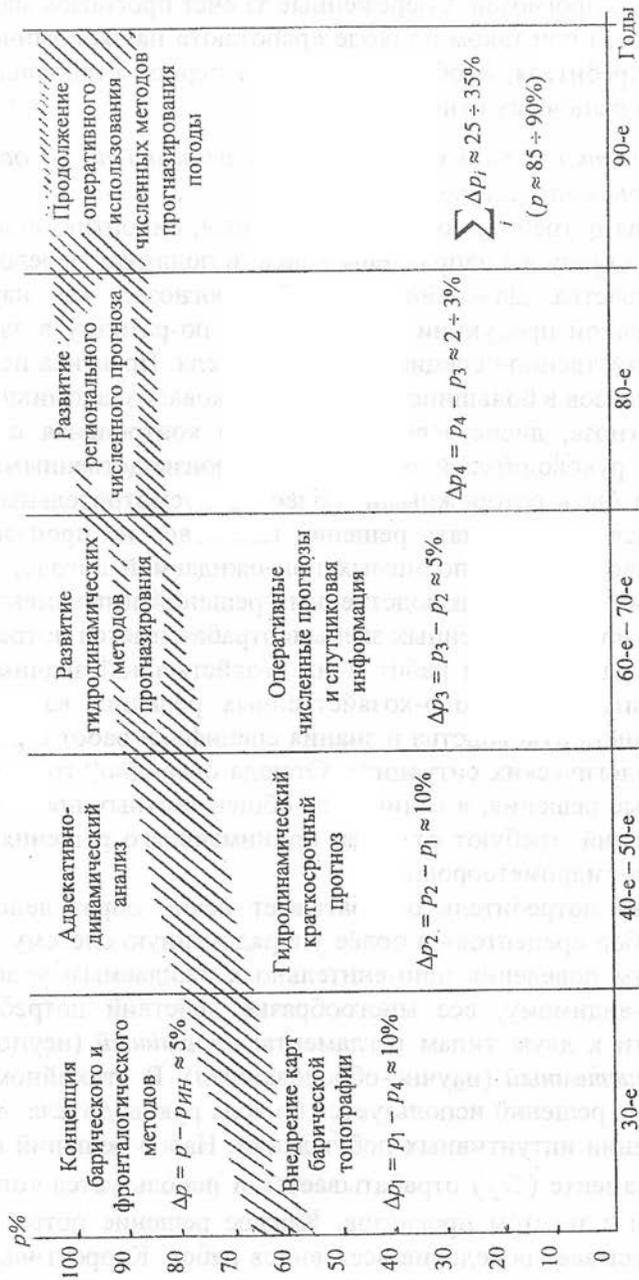


Рис. 3..2. Динамика успешности краткосрочных метеорологических прогнозов.

использованию прогнозов. Сбереженные за счет прогнозов материальные ценности при таком подходе «работают» на экономические интересы потребителя, особенно сейчас, в период становления в стране новых рыночных отношений.

2. *Разработка погодо-хозяйственного регламента на основании опыта принимаемых решений.*

Передавая потребителю прогнозы погоды, синоптик полагает, что они будут сразу же направлены в дело и подлежат переводу на язык производства. Дальнейшая судьба прогнозов, как научно-производственной продукции, складывается по-разному в зависимости от хозяйственной специфики потребителя. Практика использования прогнозов в большинстве случаев такова: ознакомившись с текстом прогноза, диспетчерская или иная контрольная служба ориентирует руководителей отдельными производственными мероприятиями быть осторожными, более предусмотрительными, с меньшим риском принимать решения или вовсе не производить операций, заведомо невыполнимых при ожидаемой погоде, и т.д. Характер этих внутрипроизводственных решений и рекомендаций для низовых производственных звеньев отрабатывается потребителем по отдельным видам работ и их хозяйственной значимости. Выбор оперативных погодо-хозяйственных решений во многом зависит от опыта руководства и знания специфики работ в различных метеорологических ситуациях. Отсюда очевидно, что погодо-хозяйственные решения, в отличие от общеизвестных производственных решений, требуют от лица, принимающего решения, знаний в области гидрометеорологии.

С годами потребитель отрабатывает некий образ действий, приводит набор «рецептов» в более упорядоченную систему – создает алгоритм поведения применительно к ожидаемым условиям погоды. По-видимому, все многообразие действий потребителя можно свести к двум типам регламента: *стихийный* (неупорядоченный) и *системный* (научно-обоснованный). В стихийном регламенте набор решений используется по воле руководителя, нередко на основании интуитивных побуждений. Набор решений в системном регламенте (Ω_d) отрабатывается и используется только в соответствии с текстом прогнозов. Каждое решение потребителя строго расписывает поведение всех видов работ. Коррективы вно-

сятся только в соответствии с рекомендациями синоптика или в случае поступления предупреждения об опасном явлении или ус- ловии погоды.

3. Количественная оценка эффективности защитных мер.

Коммерциализация гидрометеорологической продукции и, в частности, прогнозов оказывает все большее положительное воз- действие на потребителя. Оно будет проявляться в том, что по- следствия принимаемых им решений должны будут получать чис- ленное выражение. Для потребителя это будет главным образом оценка предотвращенных потерь ($s_{12} - \varepsilon s_{12}$). Отсюда возникает не- обходимость установить эффективность защитных мер, что неаде- кватно с их стоимостью (s_{11}). Только на основании рачительного, хозяйственного отношения к прогнозам, а также к постоянной и относительно полной информации об убытках, установленных по окончанию опасной погоды, можно определить эффективность принимаемых мер защиты ($\varphi = 1 - \varepsilon$). Поэтому при разработке матрицы потерь второго порядка потребитель должен знать за ка- ждый сезон или производственный период (навигация, посадочный период, отопительный сезон и др.) следующие показатели из рас- чета на один случай (прогноз): стоимость защитных мер (s_{11}), ос- таточные потери (εs_{12}) и максимальные потери (s_{12}) в случае про- пуска опасного явления погоды.

4. Формирование требований к прогнозам

Требования к прогностической информации порождаются не- сколькими факторами, которые относятся как к области разработки прогнозов – к оперативной синоптической практике, – так и к той сфере производства, где эти прогнозы применяются в деле.

Качество краткосрочных метеорологических прогнозов, опре- деляемое как успешность прогнозирования, зависит, как известно, от методов прогноза того или иного явления или условия погоды, от полноты исходной информации и сложности мезометеорологи- ческих и синоптических процессов. Эти положения, возможно, из- вестны потребителям прогнозов, однако область их интересов да- лека от учета реальных сложностей прогнозирования.

Что же тогда может быть положено в основу требований к прогнозам? *Первая версия* может состоять в том, что далеко не все прогнозы оправдываются и потребитель несет потери. Такая версификация требований не имеет решения, поскольку прогнозы действительно не идеальны и потери будут в любом случае. *Вторая версия* заключается в том, что по наблюдениям потребителя в определенный месяц или сезон растет число ошибок-пропусков. Это требование имеет решение и выражает интересы как потребителя, так и поставщика. Уменьшение ошибок-пропусков (n_{12}) ведет к сокращению прямых потерь ($L = s_{12}$), что в свою очередь отвечает коммерческим интересам поставщика. Наибольший интерес может представлять *третья версия*. Суть ее в том, что при условии полного доверия прогнозам и использования стандартных мер защиты потребитель отмечает рост остаточных потерь (εs_{12}). Это должно навести на мысль, что возрастает интенсивность опасного явления (скорости ветра, гололедных отложений и т.п.). В то же время это может быть основанием для внесения корректив в меры защиты – повысить их организацию и технологию. Главное требование здесь сводится к повышению успешности прогнозов наличия явления (n_{11}), что непременно скажется и на уменьшении ошибок-пропусков.

Итак, основным требованием потребителя к прогнозам должен быть *поиск путей снижения потерь* за счет как метеорологических, так и производственных резервов. Это положение согласуется с тем, что возможности повышения успешности прогнозов еще не исчерпаны. Да и потребитель в новых хозяйственных условиях будет разрабатывать с участием Службы прогнозов более эффективный погодо-хозяйственный регламент поведения.

3.5. Оптимальное использование прогнозов погоды в энергетике

Оперативное метеорологическое обеспечение топливно-энергетического комплекса (ТЭК), возложенное на десятки оперативно-прогностических организаций Росгидромета, направлено на обеспечение всех его производственных функций при различных условиях погоды.

Энергетика (ТЭК) включает в себя: электрические системы и сети теплоснабжения; систему нефте- и газоснабжения; систему угольной промышленности и систему ядерной энергетики. Нормальное функционирование каждой из них зависит от умелого использования гидрометеорологической информации, а прогнозов погоды в особенности.

Так, режим потребления электроэнергии в значительной мере зависит от температуры наружного воздуха и естественной освещенности. Изменение средней суточной температуры воздуха на $\pm 1^\circ\text{C}$ сопровождалось изменением генерирующей мощности в бывшей Единой энергетической системе (ЕЭС СССР) на 1 млн. кВт. Это соответствовало снижению или увеличению расхода условного топлива на 7 тыс. т в сутки (при теплотворной способности, равной $2.9308 \cdot 10^7$ Дж/кг). При изменении облачности от небольшой до сплошной (или наоборот) потребление электроэнергии в зимние дни на Европейской территории бывшего СССР увеличивалось (уменьшалось) примерно на 5 % (до 1 млн. кВт). Прогнозы среднесуточной температуры воздуха и облачности по 33 районам Советского Союза в 1979 г. позволили сэкономить 176 тыс. тонн условного топлива. На основании ежедневных прогнозов погоды служба энергетических режимов устанавливает уровни выработки электроэнергии на каждый день.

Специализированные прогнозы погоды получают предприятия, осуществляющие добычу и транспортировку нефти, газа, угля и других полезных ископаемых.

Особое место в ТЭК занимает теплоэнергетика. В энергетическом балансе страны расход топлива на централизованное теплоснабжение постоянно возрастал, что было связано с вводом в эксплуатацию новых энергетических объектов (ТЭЦ, ГРЭС и др). Использование прогнозов температуры воздуха и скорости ветра позволяет получать значительный экономический эффект в теплоэнергетике вследствие оптимальной выработки тепловой энергии.

Рассмотрим *оптимальное использование прогнозов температуры воздуха* на примере работы тепло-электроцентрали (ТЭЦ).

Известно, что избыточная (перерасход) Q_n или недостаточная (недодача) Q_n выработка тепла определяется по формулам вида

$$Q_n(\Delta t_{\text{пр}}) = \frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta Q_0 + \frac{Q_p^T}{t_{\text{пом}} - t_p} \Delta t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right)^2 \right] -$$

$$-\frac{Q_p^T}{t_{\text{пом}} - t_p} \Delta t_{\text{пр}} \left[\frac{1}{2} - \Phi \left(\frac{\Delta Q_0 + \frac{Q_p^T}{t_{\text{пом}} - t_p} \Delta t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right) \right], \quad (3.5)$$

$$Q_n(\Delta t_{\text{пр}}) = \frac{\sigma_{\Delta Q}}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta Q_0 - \frac{Q_p^T}{t_{\text{пом}} - t_p} \Delta t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right)^2 \right] +$$

$$+\frac{Q_p^T}{t_{\text{пом}} - t_p} \Delta t_{\text{пр}} \left[\frac{1}{2} - \Phi \left(\frac{\Delta Q_0 - \frac{Q_p^T}{t_{\text{пом}} - t_p} \Delta t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q}} \right) \right], \quad (3.6)$$

где $\sigma_{\Delta Q}$ – среднее квадратическое отклонение расхода тепла; ΔQ_0 – погрешность контроля расхода тепла; Q_p^T – расчетная тепловая нагрузка ТЭЦ; $t_{\text{пом}}$ – температура воздуха в отапливаемых зданиях (принимается равной 18 °С); t_p – расчетная температура наружного воздуха (средняя из восьми самых холодных зим за последний 50-летний период наблюдения в данном географическом районе); $\Delta t_{\text{пр}} = \bar{t}_{\text{пр}} - \bar{t}$ – ошибка прогноза температуры воздуха ($\bar{t}_{\text{пр}}$, \bar{t} – соответственно среднесуточная прогнозируемая и фактическая температура воздуха); $\Phi(t)$ – табулированная функция интеграла вероятности.

Общее стоимостное выражение потерь записывается следующим образом:

$$S(\Delta t_{\text{пр}}) = S_{\text{п}}(\Delta t_{\text{пр}}) + S_{\text{н}}(\Delta t_{\text{пр}}), \quad (3.7)$$

где $S_{\text{п}}(\Delta t_{\text{пр}}) = c_{\text{п}} Q_{\text{п}}$ и $S_{\text{н}}(\Delta t_{\text{пр}}) = c_{\text{н}} Q_{\text{н}}$. Здесь $c_{\text{п}}$ и $c_{\text{н}}$ – соответственно стоимость выработки тепловой энергии и масштаб потерь в народном хозяйстве в случае недостаточного теплоснабжения.

Пример. Рассмотрим порядок расчета функций тепловых ($Q_{\text{п}}$, $Q_{\text{н}}$) и стоимостных ($S_{\text{п}}$, $S_{\text{н}}$) потерь и процедуру оптимизации использования среднесуточной температуры воздуха для ТЭЦ-1 в Южно-Сахалинске.

Исходные условия (отопительный сезон 1990–1991 гг.):

- 1) тепловая мощность $Q_{\text{п}}^{\text{г}} = 409$ Гкал/ч;
- 2) $t_{\text{п}} = -24$ °С;
- 3) средняя разность температур прямой (t') и обратной (t'') воды в системе ТЭЦ-1 равна 30 °С;

4) ошибка измерения температуры воды в системе составляет $\Delta t_{\text{в}} = 1$ °С;

5) средняя температура воздуха за отопительный сезон в Южно-Сахалинске $\bar{t}_{\text{от}} = -4.3$ °С;

6) величины: $C_{\text{п}} = 14$ руб/Гкал = 0.014 тыс. руб/Гкал, $C_{\text{н}} = 3C_{\text{п}} = 0.042$ тыс. руб/Гкал.

Порядок расчета:

- 1) технологическая погрешность

$$\Delta Q_0 = \pm \frac{2Q_{\text{п}}^{\text{г}} \Delta t_{\text{в}}}{t' - t''} = 27.3 \text{ Гкал/ч};$$

- 2) среднеквадратическое отклонение расходов тепла

$$\sigma_{\Delta Q} = 0.3 \frac{Q_{\text{п}}^{\text{г}} (t_{\text{п}} - \bar{t}_{\text{от}})}{t_{\text{п}} - t_{\text{п.}}} = 62.3 \text{ Гкал/ч};$$

- 3) относительная ошибка прогноза

$$\Theta_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{пр}}}{\sigma_{\Delta Q} (t_{\text{п}} - \bar{t}_{\text{от}})};$$

- 4) безразмерный параметр вида

$$\lambda = \frac{\Delta Q_0}{\sigma_{\Delta Q}} = 0.44;$$

Таблица 3.8

Расчет параметров \tilde{Q}_n , \tilde{Q}_n на основании λ и $\theta_{пр}$

$\tilde{Q}_{n,n}$	λ	Относительная ошибка прогноза $\theta_{пр}$										
		-4,0	-3,0	-2,0	-1,0	-0,5	0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
\tilde{Q}_n	0,1	4,0	3,0	2,01	1,08	0,70	0,40	0,16	0,08	0,01	0	0
	0,5	4,0	3,0	2,00	1,04	0,65	0,35	0,15	0,06	0,01	0	0
	1,0	4,0	2,99	1,93	0,90	0,51	0,24	0,10	0,03	0	0	0
	1,5	3,90	2,99	1,74	0,66	0,32	0,13	0,04	0,01	0	0	0
	2,0	3,90	2,77	1,40	0,40	0,16	0,05	0,01	0	0	0	0
\tilde{Q}_n	0,1	0	0	0,01	0,08	0,16	0,40	0,70	1,08	2,01	3,0	4,0
	0,5	0	0	0,01	0,06	0,15	0,35	0,65	1,04	2,00	3,0	4,0
	1,0	0	0	0	0,03	0,10	0,24	0,51	0,90	1,93	2,99	4,0
	1,5	0	0	0	0,01	0,04	0,13	0,32	0,66	1,74	2,99	3,9
	2,0	0	0	0	0	0,01	0,05	0,16	0,40	1,40	2,77	3,8

5) промежуточные функции \tilde{Q}_n , \tilde{Q}_n (в зависимости от λ и Θ_{np}). Применительно к данной ТЭЦ находим:

Δt_{np}	$\Delta t_{np} < 0$				0	$\Delta t_{np} > 0$			
	-12	-9	-6	-3		3	6	9	12
Θ_{np}	-2.99	-2.44	-1.50	-0.74	0	0.74	1.50	2.24	2.29

Значения \tilde{Q}_n , \tilde{Q}_n находятся по специальной табл. 3.8;

7) значения Q_n , Q_n определяются по формулам

$$Q_n = \sigma_{\Delta Q} \tilde{Q}_n,$$

$$Q_n = \sigma_{\Delta Q} \tilde{Q}_n;$$

8) численное значение функции стоимостных потерь устанавливается следующим образом:

$$S_n = \tau C_n Q_n,$$

$$S_n = \tau 3 C_n Q_n,$$

$$S(\Delta t_{np}) = S_n + S_n,$$

где τ – период прогнозирования (12 или 24 ч)

Результаты расчетов $S(\Delta t_{np})$ согласно (3.7) приведены в табл. 3.9, а матрица потерь (фрагмент) – в табл. 3.10.

Таблица 3.9

Расчет функции стоимостных потерь $S(\Delta t_{np})$

Параметр	Ошибка прогноза Δt_{np}								
	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12
Q_{np}	-2.99	-2.24	-1.50	-0.74	0	—	—	—	—
\tilde{Q}_n	2.99	2.24	1.51	0.79	0.31	0.09	0.03	0	0
Q_n	117.24	85.98	58.62	31.26	11.72	3.91	1.17	0	0
S_n	39.85	29.24	18.92	10.64	3.98	1.32	0.40	0	0
Q_{np}	—	—	—	—	0	0.74	1.50	2.24	2.99
\tilde{Q}_n	0	0	0.03	0.09	0.31	0.79	1.51	2.24	2.99
Q_n	0	0	1.17	3.91	11.72	31.26	58.62	85.98	117.24
S_n	0	0	1.20	3.96	11.94	31.92	56.76	87.72	119.55
$S(\Delta t_{np})$	39.85	29.24	20.12	14.60	15.92	33.24	57.16	87.72	119.55

Фрагмент матрицы потерь

Фактически было, Φ_i	Потребитель ориентируется на прогноз, Π_j						
	-12	-9	-6		0	3	9
-11, -13 (-12)	15.92	33.24	57.16		119.55		
-8, -10 (-9)	14.60	15.92	33.24	...	87.72	119.55	
·							
0	39.85	29.24	20.12		15.92	33.24	...
·							
5, 7 (6)		50.66	39.85	...	20.12	14.60	...

Анализ функции стоимостных потерь показывает, что минимум $S(\Delta t_{\text{пр}})$ приходится на ошибку $\Delta t_{\text{пр}} = -3$ °С. Это значение ошибки рассматривается как *оптимизационная поправка* к ожидаемой среднесуточной температуре воздуха

$$\bar{t}_{\text{пр(опт)}} = \bar{t}_{\text{пр}} - 3 \text{ °С.}$$

Расчет матрицы систематических потерь, согласно формуле (1.39), позволяет перейти к оценке экономического эффекта использования прогнозов среднесуточной температуры воздуха ($\bar{t}_{\text{пр}}$).

Матрицы сопряженности многофазовых методических и инерционных прогнозов $\bar{t}_{\text{пр}}$ позволяют рассчитать средние потери \bar{R}_m , $\bar{R}_{\text{ин}}$ и экономический эффект при стратегии полного доверия прогнозам и в случае оптимальной стратегии ($\mathcal{E}_m, \mathcal{E}_{\text{опт}}$).

Итак, очевидно, что проблема сбережения топлива в теплоэнергетике крупных городов, да и страны в целом, не может быть решена в рамках чисто производственных задач. Без адаптации режима работы теплоисточников к ожидаемой погоде невозможно оптимально снизить эпизодически возникающее избыточное теплоснабжение Q_n . За счет прогнозов погоды допускается значительная экономия природных (невозобновляемых) ресурсов. Тем самым прогностиче-

ская информация выступает как постоянно действующий ресурсосберегающий механизм или как *метеорологический фактор природопользования*.

Оптимальное использование прогнозов в теплоэнергетике позволяет снизить негативные последствия возможного недостаточного теплоснабжения Q_n , как результат ошибок-пропусков заметных или значительных понижений температуры воздуха в течение суток. Потребители тепловой энергии в промышленности несут при этом определенные издержки вследствие снижения количества и качества выпускаемых товаров. В этих ситуациях иные потери испытывает коммунальное хозяйство. Особый характер ущерба приходится нести населению (перерасход электроэнергии, газа, потери рабочего времени).

Оптимальная выработка тепловой энергии на ТЭЦ, ГРЭС и других теплоисточниках решает еще одну крайне важную задачу, а именно природоохранную: устанавливаются оптимальные условия выброса вредных веществ в атмосферу города, в частности сернистого газа. Не менее важной в теплоэнергетике остается задача, связанная с планированием запасов топлива на отопительный сезон. Она решается с учетом известных законов распределения температуры воздуха в локальных условиях.

Пример 2. Особую угрозу для линий электропередач (ЛЭП) представляют гололедно-ветровые воздействия. Аварии и повреждения ЛЭП вызывают убытки не только непосредственно в системе электроэнергетики, но и у потребителей электроэнергии. На поврежденной линии могут прекратить работу отдельные участки промышленных предприятий, электротранспорт, ряд технологических линий в совхозах, в сельхозпроизводственных объединениях, частных фирмах.

Специализированные прогнозы и заблаговременные предупреждения позволяют уменьшить убытки при осуществлении опасного явления (сильные грозы, ураганные ветры, сильные отложения гололеда, резкие изменения температуры воздуха – на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более за сутки). Время прекращения подачи электроэнергии снижается на 30–50 %. Для построения матрицы потерь $\|s_{ij}\|$ потребитель должен знать следующее.

А. Какие потери в среднем (на один случай, прогноз) будет нести потребитель (электроэнергетика), если опасное явление по прогнозу не ожидалось, а фактически наблюдалось. Сюда же должны войти потери народнохозяйственных организаций, связанные с перерывом подачи электроэнергии. Все это определяет величину s_{12} .

Б. Стоимость защитных мер $s_{11} = s_{21}$ будет включать следующие статьи: 1) расходы на оплату работ аварийных бригад, 2) расходы на эксплуатацию техники, 3) расходы, связанные с плавкой льда повышенным напряжением.

Анализ матриц сопряженности прогнозов гололеда (ноябрь–март 1979–1982; 1983–1985 гг.), составленных Ростовским гидрометцентром, и данных о потерях ЛЭП системы Ростовэнерго позволили установить средние (байесовские) потери при различных стратегиях:

$$\bar{R}_m = 0.11 \text{ тыс. руб./прогноз}$$

(примерно 1.1. млн. руб./прогноз на 1997 г.),

$$\bar{R}_{ин} = 0.21 \text{ тыс. руб./прогноз,}$$

$$\bar{R}_{кл.1} = 0.45 \text{ тыс. руб./прогноз,}$$

$$\bar{R}_{кл.2} = 0.25 \text{ тыс. руб./прогноз.}$$

Тем самым обеспечивается доказательство выбора стратегии доверия оперативным методическим прогнозам.

Оценка успешности и экономической полезности прогнозов гололеда по Санкт-Петербургу показывает, что их выгодное использование предъявляет определенные требования к потребителю (C/L). Прогнозы экономически выгодны для тех потребителей, для которых $C/L \leq 0.43$. Более того, с увеличением природной частоты явления (p_{10}) экономический эффект растет (рис. 3.3).

Погода оказывает существенное влияние на все виды работ в системе добычи полезных ископаемых (уголь, нефть, газ и др.) В холодную половину года продолжительные туманы в открытых карьерах (разрезах) нередко переходят в смог с концентрацией СО на глубоких горизонтах выше ПДК, что приводит к полной приостановке всех видов работ и срочной эвакуации рабочих «наверх». Это особенно характерно для глубоких карьеров, где в периоды сильных температурных инверсий затруднена естественная вентиляция. Так, со 2 по 11 ноября 1967 г. убытки от простоя Коркинского угольного

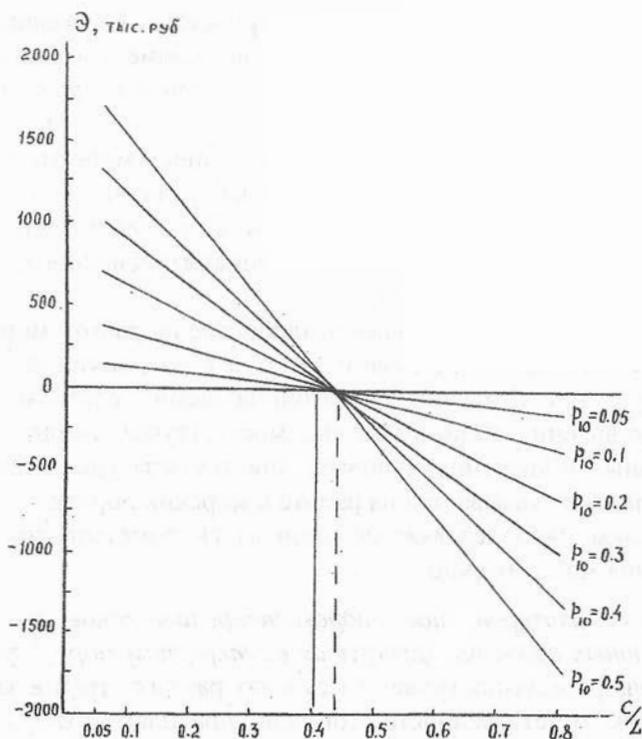


Рис. 3.3. Зависимость экономического эффекта использования прогнозов гололеда в Санкт-Петербурге от C/L и p_{10} при стратегии доверия прогнозам.

карьера (вблизи Челябинска) составили 1 млн. 800 тыс. рублей (в масштабе цен 60-х годов). Это подтверждает исключительно важное экономическое значение прогноза смогов в глубоких карьерах при открытом способе добычи полезных ископаемых. И здесь мы приходим к выводу. Что рациональное природопользование возможно только при условии *оптимального сочетания* хозяйственной деятельности с гидрометеорологическими условиями.

3.6. Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии в организациях морского и речного флота

К морским организациям относятся: *морской транспорт*, один из важнейших видов транспортной сферы материального производства в стране; *морские порты* — районы базирования и грузовых

операций; *рыбопромысловый флот* (прибрежный, океанический), осуществляющий добычу морепродуктов. Кроме того, к морским организациям относят *морские нефтепромыслы* и *гидротехническое строительство*.

Специфика работы каждой из приведенных морских организаций различна. Обнаруживаются и заметные различия в воздействии на них гидрометеорологических условий. Тем самым подтверждается необходимость избирательного специализированного гидрометеорологического обеспечения.

Наибольшее лимитирующее воздействие на работу морских организаций оказывают волнение и ветер, а в холодную часть года — ледовые условия. Другими неблагоприятными условиями погоды выступают явления, снижающие видимость, (туман, осадки), а также значительные понижения и повышения температуры воздуха, что неблагоприятно сказывается на работе в морских портах.

Выделим наиболее важные разделы гидрометеорологического обеспечения морских судов.

1. *Специализированное гидрометеорологическое обеспечение транспортных судов на маршрутах в открытом море.* Прогностическая информация поступает на суда из разных стран в зависимости от зоны ответственности, согласно правилам ВМО. Наряду с этим прогнозы погоды и предупреждения об опасных гидрометеорологических условиях передаются на судно и непосредственно из пункта базирования. Анализируя прогностическую информацию, капитан принимает решение, отвечающее *неформальной оптимизации*. Его действия в данном случае основаны на собственном опыте рациональных оценок ожидаемой гидрометеорологической ситуации по маршруту следования.

Для отдельных районов Мирового океана ВМО создала особые службы гидрометеорологического обеспечения. Так, в Атлантическом океане в определенных точках (рис. 3.4) находятся специальные суда погоды, которые передают метеосообщения ежечасно.

В северной части Атлантического океана у берегов Америки существует Служба Международного ледового патруля (International Ice Patrol), которая обеспечивает мореплавателей ледовой информацией о границах распространения айсбергов и ледяных полей в районе Большой Ньюфаундлендской банки.

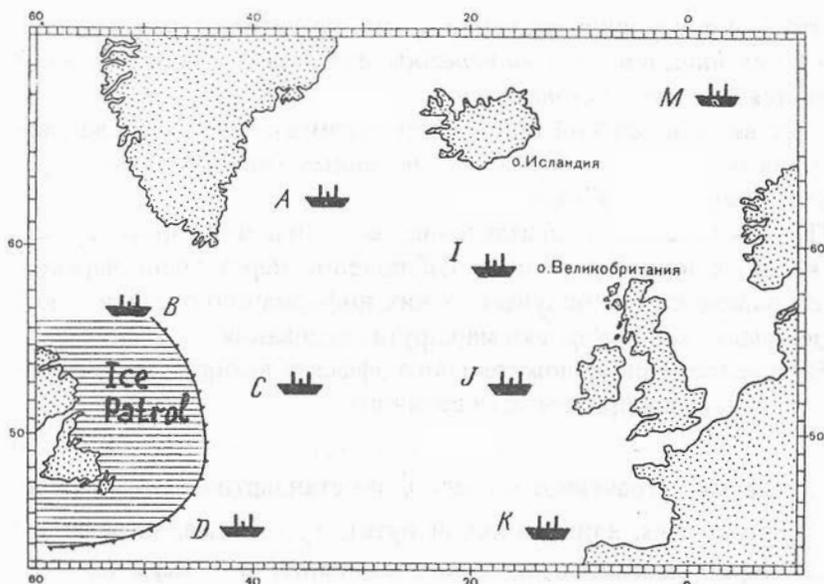


Рис. 3.4. Карта расположения судов погоды и Международного ледового патруля в Атлантическом океане.

2. *Проводка судов в океанах наивыгоднейшими путями.* Разработка и рекомендации оптимальных путей следования начата в СССР в 1964 г. (в США в 1952 г.). Службы обеспечения судов рекомендованными (затем было предложено именовать оптимальными) курсами были организованы во многих странах (Германия, Великобритания, Нидерланды и др.).

Математическая постановка задачи выбора оптимального пути следования судна сводится к определению кривой $y = y(x)$, выражающей экстремум функции цели. Функция стоимости (в денежном или ином экономическом выражении) может быть задана в виде $F(x, y, y') dx$, где $y' = dy/dx$. Задача сводится к нахождению такого пути на переходе от $x = a$ до $x = b$, на котором интеграл, выражающий общую стоимость перехода

$$T = \int_b^a F(x, y, y') dx, \quad (3.9)$$

обращается в минимум (минимизируется время, денежные средства и гидрометеорологическая опасность).

Это будет маршрут движения судна, на котором, как правило, достигается *минимум времени перехода* из порта А в порт В и обеспечивается *максимум безопасности*.

Учет ветра и течений при расчете оптимального пути следования судна может выполняться как численным (на ЭВМ), так и графическим (вручную) методом.

Прогностическое подразделение, выполняющее проводку судов, ведет за ними постоянное наблюдение через диспетчерскую службу парохозяйства и получает от них информацию о фактической погоде в целях корректировки маршрута следования.

В качестве меры положительного эффекта выбора оптимального пути следования принимается величина

$$g_{i0}(\omega) = \tau_i - \tau_0, \quad (3.10)$$

где τ_i – время, затраченное на период по стандартному пути следования (ортодромия, климатический путь); τ_0 – время, затраченное на переход по *оптимальному пути следования*; ω – мера перевода затраченного времени в денежное измерение.

Суда, к примеру, следующие через Северную Атлантику, получают средний годовой выигрыш от 6 до 10 ч. Максимум выигрыша достигает 15 ч.

3. *Специализированное обеспечение прогнозами рыбопромысловых экспедиций.* Особенностью рыбопромысловых работ является автономность производственных операций в условиях постоянно меняющейся погоды на море. Нередко неблагоприятные условия погоды достигают критических, что требует экстренных мер защиты – прекращение работ и уход в безопасную зону. Добыча морепродуктов напрямую сохраняет зависимость от погоды (шторм, обледенение судов, ледовая обстановка, постоянные смены климатических зон), что требует повышенной оперативности как от службы, обеспечивающей безопасность мореплавания, так и от Службы прогнозов.

Рыбопромысловый флот страны базируется в крупных портах Санкт-Петербурга, Мурманска, Владивостока и ряда других городов. Наиболее крупный рыбопромысловый флот сосредоточен во Владивостоке. В 1985 г. промысловый и транспортный флот Дальрыбы насчитывал около 6 тыс. единиц.

Оптимизация использования гидрометеорологических прогнозов рыбопромысловыми экспедициями сводится к минимизации по-

терь от сильных штормов и ледовой обстановки в промысловых районах (экспедиции Приморская, Южно-Курильская, Северо-Курильская). Дальневосточный флот проводил работы в Антарктиде в районе моря Содружества и моря Уэдделла.

Экономическая полезность использования предупреждений о штормах с учетом затрат на ремонт судов и их простой, а также стоимости прогностической информации по Южно-Курильской экспедиции составила около 70 тыс. руб. (1982 г., по материалам Приморского УГМС).

Аналогичные оценки установлены по другим рыбопромысловым акваториям, где добыча морепродуктов осуществляется российскими судами.

В целях повышения эффективности экспедиционной организации промысла гидрометеорологическое обеспечение осуществляется непосредственно на месте лова оперативной синоптической группой (ОСГ). Эта новая форма гидрометобеспечения рыбопромыслового флота впервые была осуществлена Литовским УГМС в 1952 г. В дальнейшем выездные ОСГ получили в стране широкое распространение. Это позволило более *оперативно* и *выгодно* учитывать ожидаемую по прогнозу промысловую и штормовую погоду.

4. *Специализированное гидрометеорологическое обеспечение плавучих кранов, платформ и других тихоходных объектов на длительных маршрутах.* Проводка осуществляется по отдельным участкам маршрута на основании рекомендаций по гидрометеорологической безопасности.

5. *Проводка судов на трассе Севморпути.* Особое значение отводится прогнозам ледовых условий и ветра. В ряде пунктов побережья Российской Арктики могут наблюдаться особо опасные условия погоды. Так, в Русской Гавани, Малых Кармакулах и Певеке отмечалась скорость ветра до 60 м/с. На о. Диксон, в Тикси и на мысе Шмидта продолжительность метелей достигала 6 суток. Все это крайне затрудняет работу судов в арктических портах.

6. *Гидрометеорологическое обеспечение паромных переправ и переходов,* например, на трассах Холмск – Ванино (Татарский пролив), Ильичевск – Варна (Черное море), Баку – Красноводск (Каспийское море), Санкт-Петербург – Стокгольм (Финский залив – Балтийское море) и др. Штормовые предупреждения о неблагоприятных условиях погоды

(штормовой ветер, ледовые условия, туманы) по трассе следования являются важнейшей гидрометеорологической информацией, позволяющей выбрать наиболее безопасный режим перехода.

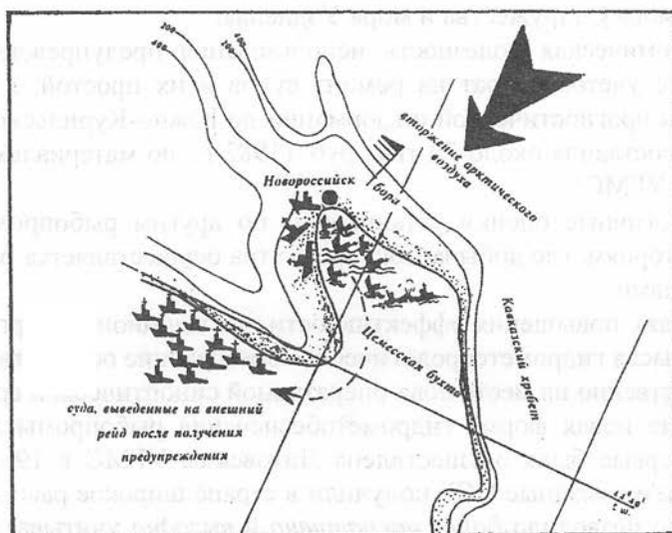


Рис. 3.5. Схема действий потребителей при принятии предупредительных мер после получения предупреждения о возникновении Новороссийской боры.

По А.И. Бедрицкому.

7. *Гидрометеорологическое обеспечение морских портов.* Специализация гидрометобеспечения устанавливается в соответствии с назначением портов (пассажирские, торговые, специальные торговые (нефть, руда, уголь, лес и др.), рыбные, порты-убежища) и с учетом региональных особенностей погоды. Ведущей метеорологической информацией для портов остается прогноз ветра. Известен классический пример, приведенный А.И. Бедрицким в одной из его работ. В ноябре 1993 г. морской порт Новороссийска получил заблаговременное предупреждение о возникновении боры. Однако достаточных защитных мер принято не было. Последствия разразившейся стихии: семь судов затонуло, три судна были выброшены на берег, столкнулись два танкера, имели место другие повреждения судов при обледенении. Значительные разрушения отмечены в коммунальном хозяйстве. Ущерб от урагана составил более 6 млн. долларов США. Иной исход отмечен 18 февраля 1994 г. Морской порт

получил предупреждение о возникновении урагана с заблаговременностью 2.5 сут. Суда были выведены на внешний рейд в безопасные укрытия (рис. 3.5). Полностью предотвратить ущерб, естественно, не удалось, но в данном случае он составил всего 19 тыс. долларов. Доля этих *остаточных* потерь по отношению к предыдущим (практически максимальным) составила $0.019 : 6 = 0.003$. Полагая идентичность последствий ураганного ветра, можно допустить, что заблаговременно принятые защитные меры позволили предотвратить ущерб более чем на 5 млн. долларов США.

Гидрометеорологическое обеспечение организаций речного флота имеет свою специфику. Оптимизация прогнозов достигается здесь в конкретной области работ. Отсюда очевидна необходимость специализированных прогнозов.

Рассмотрим возможность оптимизации использования прогнозов скорости ветра. До настоящего времени в восточной части Финского залива на трассах Санкт-Петербург – Петергоф, Санкт-Петербург – Кронштадт курсируют пассажирские суда на подводных крыльях типа «Метеор». По разработкам, выполненным в 1983 г., матрица потерь при условии $V_{шт} \geq 12$ м/с применительно к работе такого типа судов речного пароходства имеет вид

$$s_{ij} = \begin{vmatrix} 32.4 & 80.0 \\ 8.1 & 0 \end{vmatrix} \text{ тыс. руб./прогноз.}$$

Величина ε для данного потребителя равна $(32.4 - 8.1)/80 = 0.3$. Матрица сопряженности полусуточных прогнозов скорости ветра ($V_{шт} \geq 12$ м/с) за апрель – сентябрь 1983 г. представлена ниже:

Методические прогнозы

$$\begin{vmatrix} 7 & 0 & 7 \\ 19 & 298 & 317 \\ 26 & 298 & 324 \end{vmatrix}$$

Инерционные прогнозы

$$\begin{vmatrix} 2 & 5 & 7 \\ 5 & 312 & 317 \\ 7 & 317 & 324 \end{vmatrix}$$

Рассчитаем средние потери с учетом предотвращенных при различных погодо-хозяйственных стратегиях (на 1983 г.)

При использовании методических прогнозов

$$\bar{R}_m = \frac{1}{N} [n_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + n_{21}s_{21} + n_{12}s_{12}] =$$

$$= \frac{1}{324} [7(8.1 - 80.0(1 - 2 \cdot 0.3)) + 19 \cdot 8.1 + 0] = -0.04 \text{ тыс. руб./прогноз};$$

или $\bar{R}_m = -0.4$ тыс. руб./прогноз (на 1998 г.)

Здесь, как видим, средние потери рассчитываются при $N = 324$. Однако не исключается возможность оценки средних потерь исходя из правомерного допущения, что они обусловлены только тремя элементами матрицы потерь (s_{11}, s_{21}, s_{12}) . Тогда средние потери \bar{R}_m должны рассчитываться относительно суммы $n_{01} + n_{12}$.

В случае использования методических прогнозов

$$\begin{aligned} \bar{R}_m &= \frac{1}{n_{01} + n_{12}} [n_{11}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + n_{21}s_{21} + n_{12}s_{12}] = \\ &= \frac{1}{26} [7(8.1 - 80.0(1 - 2 \cdot 0.3)) + 19 \cdot 8.1] = -0.515 \text{ тыс. руб./прогноз}. \end{aligned}$$

В перерасчете на 1998 г. (первый год изменения масштаба цен) величина \bar{R}_m составит

$$\bar{R}_m = -0.515 \text{ руб./прогноз} \frac{10^4 (1997)}{10^3 (1998)} = -5.2 \text{ тыс. руб./прогноз},$$

что отвечает (в случае отрицательных потерь) среднему выигрышу использования прогнозов. Ориентация на инерционные прогнозы приводит к средним потерям, которые составляют:

$$\bar{R}_{ин} = \frac{1}{12} [2(8.1 - 80(1 - 2 \cdot 0.3)) + 5 \cdot 8.1 + 5 \cdot 80] = 32.7 \text{ тыс. руб./прогноз}$$

(или 327 тыс. руб./прогноз в пересчете на 1998 г.).

Использование в данном случае климатологических стратегий теряет смысл. Стратегия постоянной защиты требует держать суда «на приколе», а стратегия пренебрежения вряд ли допустима, поскольку следует учитывать безопасность пассажиров.

3.7. Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии в строительных организациях

Строительная индустрия охватывает широкий спектр промышленных, транспортных и коммунальных строительных объектов и определяет единую отрасль материального производства – *строительство*.

Индустриализация строительства обуславливает увеличение доли овеществленного труда и *повышение удельного веса затрат материальных ресурсов* в структуре стоимости строительно-монтажных работ. Отсюда очевидна роль погодо-климатического фактора в оптимизации строительства на всех уровнях: конструирования, планирования, строительно-монтажных операций.

Основными видами строительства является промышленное, жилищно-гражданское и сельское. Существенная роль отводится гидротехническому и транспортному строительству.

Любой вид строительства предусматривает непрерывную цепь производственных работ, связанных с конструкциями и строительными механизмами, со строительными материалами, доставляемыми автотранспортом. Все виды строительных работ, как правило, ведутся на открытом воздухе. В случае неблагоприятных условий погоды предусматриваются необходимые защитные меры. В качестве таких мер могут быть: остановка работы машин и механизмов, крепежные и оградительные работы, защита строительных материалов, перевод части рабочих на другие виды работ и другие.

Весь ход строительных работ – подвоз стройматериалов и строительных конструкций, работа кранов и непосредственно строительно-монтажные работы – зависит от текущей погоды, особенно от температуры воздуха, ветра и осадков. На открытом воздухе при сильном ветре и морозе строительные работы крайне затруднены и опасны и могут быть приостановлены. При скорости ветра 12–15 м/с некоторые передвижные краны прекращают работу.

В строительстве широко используются краткосрочные прогнозы погоды и предупреждения об ОЯ и СГМЯ. Для зданий высокой этажности составляются прогнозы скорости ветра на соответствующих высотах. Такого рода прогнозы (на высоте 25–32 м) составляются, например, в гидрометцентре Санкт-Петербурга для морского порта и ряда строительных организаций города. Экономический эффект их использования в 1984 г. составил 2 млн. 383 тыс. руб. Многообразие видов строительных работ требует избирательной разработки специализированных гидрометеорологических прогнозов. Оптимальное их использование зависит прежде всего от целенаправленной научно-обоснованной системы принимаемых потребителем решений – *погодо-хозяйственного регламента* данной строительной организации. Каждый в отдельности потребитель метеорологиче-

ских прогнозов должен разработать матрицу потерь хотя бы второго порядка. Более того, в его экономических интересах перейти на трехфазовый погодо-хозяйственный регламент.

К настоящему времени известны матрицы потерь по ряду строительных организаций (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Матрица потерь и отношение C/L

Потребитель	Матрица потерь $\ s_{ij}\ $, тыс. руб./ прогноз	C/L
Беларусь. Строительные комбинаты. $V_{шт} \geq 12$ м/с, (1980 г.)	$\begin{vmatrix} 26.7 & 60.0 \\ 26.7 & 0 \end{vmatrix}$	0,45
Воркута. Комбинат «Печоршахтстрой» $V_{шт} \geq 12$ м/с, низкие температуры (1974 г.)	$\begin{vmatrix} 37.9 & 75.5 \\ 29.0 & 0 \end{vmatrix}$	0,38
Воркута. Комбинат «Печоршахтстрой» $V_{шт} \geq 14$ м/с, низкие температуры, опасные метели (1974 г.)	$\begin{vmatrix} 36.4 & 99.2 \\ 28.0 & 0 \end{vmatrix}$	0,37
Караганда. Трест «Промстрой» $V_{шт} \geq 12$ м/с (1990 г.)	$\begin{vmatrix} 86.4 & 173.9 \\ 86.4 & 0 \end{vmatrix}$	0,49
Караганда. Строительное объединение «Карагандажилстрой» $V_{шт} \geq 12$ м/с (1990 г.)	$\begin{vmatrix} 164.2 & 330.4 \\ 164.2 & 0 \end{vmatrix}$	0,50
Караганда. Трест «Шахтстрой» $V_{шт} \geq 12$ м/с (1990 г.)	$\begin{vmatrix} 12.6 & 26.1 \\ 12.6 & 0 \end{vmatrix}$	0,48
Курск. «Курсктяжстрой» $V_{шт} \geq 12$ м/с (1985 г.)	$\begin{vmatrix} 22.7 & 79.0 \\ 22.7 & 0 \end{vmatrix}$	0,29
Москва. Строительная организация (СУ-5), $V_{шт} \geq 12$ м/с, (холодный период года, 1980 – 1984 гг.)	$\begin{vmatrix} 6.6 & 58 \\ 1.6 & 0 \end{vmatrix}$	0,03
Москва. Строительная организация (СУ-5), $V_{шт} \geq 15$ м/с, (теплый период года, 1980, 1981 гг.)	$\begin{vmatrix} 5.0 & 58 \\ 1.0 & 0 \end{vmatrix}$	0,02
Петропавловск-Камчатский. Трест «Камчатскстрой». $V_{шт} \geq 20$ м/с, особо опасная метель (1985 г.)	$\begin{vmatrix} 232 & 445 \\ (200) & 0 \end{vmatrix}$	0,45
Таллинн. Управление механизации $V_{шт} \geq 12$ м/с (1985 г.)	$\begin{vmatrix} 10.5 & 16.6 \\ 10.5 & 0 \end{vmatrix}$	0,63

Результаты расчетов стоимости защитных мер ($s_{11} = s_{21}$) и последствий прямых потерь (s_{12}), приведенные в табл. 3.11, дают общее представление о степени воздействия метеорологического фактора на данную отрасль экономики.

Таблица 3.12

Содержание матрицы потерь строительной организации

Погода Φ_i	Потребитель принимает решение $d(\Pi)_j$	
	Защитные меры принимаются $d(\Pi)$	Защитные меры не принимаются $d(\bar{\Pi})$
Опасные условия погоды наблюдались Φ	1. Стоимость простоя техники (краны, подъемники и т.п.) 2. Простой автотранспорта 3. Оплата простоя рабочих 4. Частичное невыполнение работ	1. Стоимость разрушенного или поврежденного оборудования, машин, механизмов и т.п. 2. Стоимость простоя: а) оплата вынужденного простоя механизмов (кранов, подъемников, стационарных установок и др.); б) оплата простоя рабочих.
	Стоимостные затраты по данным за n_{11} случаев	3. Потери, связанные с невыполнением объема работ (стоимость неосвоенных средств, плановых заданий).
	Средние затраты (s_{11}) Средние непредотвращенные потери (ε_{12})	4. Потери вследствие порчи строительного материала. 5. Суммарные потери по n_{12} случаям Средние потери (s_{12})
Опасные условия погоды не наблюдались $\bar{\Phi}$	Аналогично ситуации $d(\Pi) \approx \Phi$: простой техники, оплата простоя рабочих и частичное невыполнение объема работ. Потери могут быть ограничены меньшим интервалом времени	Потерь нет. (Принимается, что благоприятные условия погоды используются эффективно)
	Суммарные затраты по данным за n_{21} случаев	
	Средние затраты (s_{21})	

Важно при этом выделить следующее. Прямые потери при ошибках-пропусках (s_{12}) изменяются на порядок (от 16.6 до 445 тыс. руб./случай). Это главным образом отражает различия масштабов строительных работ и, конечно, региональных особенностей воздействия метеорологического фактора (ветер, температура воз-

духа, метели и др.). Аналогичным образом колеблются и затраты на предупредительные меры.

Наряду с этим отношение затрат к убыткам C/L в целом меняется незначительно. Несколько выделяются строительные организации Москвы, где C/L по приведенным данным составляет 0.025, что отражает относительно высокую технологию мер защиты при использовании прогнозов скорости ветра.

Среднее значение C/L по ряду полученных оценок составляет 0.37.

Разработка матриц потерь для строительных организаций требует знания статей возможного расхода на предупредительные меры и прямых потерь. Примерная схема выделения статей, определяющих матрицу потерь, приведена в табл. 3.12.

Пример. Рассмотрим выбор оптимальной стратегии использования прогнозов скорости ветра строительной организацией Москвы (СУ-5).

Многие строительные управления Москвы в 80-е годы проводили строительные работы в пределах города и в пригородной зоне (рис. 3.6). Наряду с другими строительными организациями прогнозы скорости ветра использовались и СУ-5.

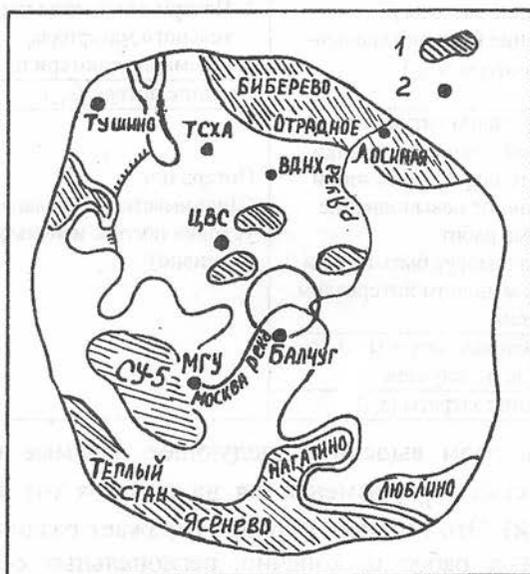


Рис. 3.6. Схема районов интенсивной застройки (1) Москвы в 80-е годы и положение метеорологических станций (2).

Поставим задачу установить, действительно ли использование прогнозов выгодно, в чем выражена эта полезность и следует ли в дальнейшем ориентироваться на оперативные прогнозы и на этой основе выбирать оптимальную стратегию.

Матрица потерь данной организации приведена в табл. 3.11. Матрицы сопряженности прогнозов скорости ветра получены за период с 1980 по 1985 г. (ноябрь – март) (табл. 3.13).

Таблица 3.13
Матрицы сопряженности прогнозов скорости ветра
($V_{\text{min}} \geq 12 \text{ м/с}$, $\tau = 24 \text{ ч}$)

Методические прогнозы	Инерционные прогнозы
$\begin{vmatrix} 113 & 17 & 130 \\ 93 & 508 & 601 \\ 206 & 525 & 731 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 89 & 41 & 130 \\ 41 & 560 & 601 \\ 130 & 601 & 731 \end{vmatrix}$

Установим средние потери при допущении возможности реализации различных стратегий.

1. В случае использования методических прогнозов с учетом предотвращенных потерь $s_{12}(1 - \varepsilon)$

$$\bar{R}_m = \frac{1}{731} [113(1.6 - 58(1 - 2\varepsilon)) + 93 \cdot 1.6 + 17 \cdot 58] = -5.6 \text{ тыс. руб./прогноз.}$$

Обратим внимание на следующее. Величина ε определяется для данного потребителя из соотношения $(6.6 - 1.6)/58 = 0.09$, кроме того, при $\varepsilon = \text{const}$ разность вида $A = (s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) = 1.6 - 58(1 - 2\varepsilon) = -45.96$ есть характеристика адаптации потребителя к ожидаемым условиям погоды. Как видим, адаптационные возможности потребителя полностью определяются коэффициентом предотвращенных потерь ε , отражающим организационно-технологический уровень защиты. Так, при $\varepsilon = 0$ (кардинальные меры защиты) получаем $A = 1.6 - 58 = -56.4$ тыс. руб./прогноз, а в случае $\varepsilon = 1$ (меры защиты предельно неэффективны) соответственно $A = 1.6 + 58 = 59.6$ тыс. руб./прогноз. В первом случае потребитель достигает отрицательных потерь, т.е. выигрыш (-56.4), во втором – максимально возможных потерь (59.6).

Общие предотвращенные потери на все случаи успешных прогнозов наличия явления (n_{11}) составляют

$$G_m = n_{11}s_{12}(1 - \varepsilon) = 113 \cdot 58(1 - 0.09) = 5964.1 \text{ тыс. руб.}$$

Отсюда за один сезон: $5964.1 : 5 = 1192.8$ тыс. руб./сезон.

2. Не исключено, что потребитель будет ориентироваться на инерционные прогнозы. Тогда средние потери составят

$$\bar{R}_{ин} = \frac{1}{731} [89(-45.96) + 41 \cdot 1.6 + 41 \cdot 58] = -2.3 \text{ тыс. руб./прогноз.}$$

В свою очередь предотвращенные потери равны

$$G_{ин} = 89 \cdot 58 \cdot 0.91 = 4697.42 \text{ тыс. руб.,}$$

или

$$G_{ин} = 939.5 \text{ тыс. руб./сезон.}$$

Отмечается определенное преимущество методических прогнозов. Однако различие результатов использования методических и инерционных прогнозов хотя и заметно, но не столь значительно. Это еще раз говорит о том, что инерционные прогнозы все же могут составлять определенную «конкуренцию» методическим при их современной оправдываемости. Тем самым подтверждается требование потребителей дальнейшего совершенствования методов прогноза скорости ветра.

3. Рассмотрим возможности использования климатологических стратегий:

$$\begin{aligned} \bar{R}_{кл.1} &= p_{10}[(s_{11} + \varepsilon s_{12}) - (s_{12} - \varepsilon s_{12})] + p_{20}s_{21} = \\ &= p_{10}(s_{11} - s_{12}(1 - 2\varepsilon)) + p_{20}s_{21} = \\ &= \frac{130}{731} [1.6 - 58(1 - 2 \cdot 0.09)] + \frac{601}{731} 1.6 = -6.9 \text{ тыс. руб./случай.} \end{aligned}$$

В свою очередь определяем предотвращенные потери

$$G_{кл.1} = 130 \cdot 58 \cdot 0.91 = 6861.4 \text{ тыс. руб.,}$$

отсюда

$$G_{кл.1} = 1372.3 \text{ тыс. руб./сезон.}$$

Полученные результаты, казалось бы, дают основания предпочесть климатологическую первую стратегию, в основе которой лежит постоянная защита от метеорологического воздействия. Однако

ежедневное применение мер защиты в этой области производства невозможно в силу абсурдности приостановки работы кранов, техники, подвозки стройматериалов и так далее.

Использование климатологической стратегии пренебрежения приводит к следующим результатам:

$$\bar{R}_{\text{кл.2}} = p_{10} \cdot s_{12} + p_{20} \cdot s_{22} = 0.178 \cdot 58 + 0 = 10.3 \text{ тыс. руб./случай.}$$

Итак, выбор оптимальной стратегии использования прогнозов скорости ветра очевиден. *Стратегия доверия оперативным методическим прогнозам является оправданной.*

3.8. Оптимальное использование метеорологических прогнозов в сельском хозяйстве.

Сельскохозяйственное производство как отрасль экономики отличается от всех иных следующими особенностями. Прежде всего эта отрасль вечного производства продуктов питания считается ведущей в любой национальной экономике. Отрасль, где все многообразие сельскохозяйственных работ осуществляется на открытом воздухе. Отрасль, где эффективность затрат труда в значительной степени зависит от условий погоды и климата. Характерная особенность этой отрасли экономики состоит еще и в том, что урожайность есть результат свойства растений интегрировать благоприятные и неблагоприятные воздействия погоды в сочетании с научно обоснованной агротехникой. При этом воздействия внешней среды на растения носят избирательный характер.

Все это говорит о необходимости рационального управления сельскохозяйственным производством. Должно быть установлено преимущественное производство определенных видов сельскохозяйственной продукции в конкретной природно-климатической зоне или области. Это достигается путем оценки *оптимальной* потребности в почвенных и климатических ресурсах теми или иными сельскохозяйственными культурами. Выбор отраслевой направленности хозяйств, использование апробированной агротехники наряду с надежными методами метеорологических и агрометеорологических прогнозов – это *необходимые условия повышения урожайности* сельскохозяйственных культур. Достаточным условием урожайности можно рассматривать оптимальное использование всех видов прогностической инфор-

мации. Особенно высокие требования точности должны предъявляться к прогнозам неблагоприятных условий погоды в вегетационной период. Аналогичные требования должны предъявляться к прогнозам агрометеорологических условий и урожайности.

Оптимальное использование прогнозов достигается в том случае, если известны сведения о прямых потерях в сельскохозяйственном производстве и затратах на защитные меры. В сельском хозяйстве отмечают наиболее значительные потери особенно вследствие сильного ветра, пыльных (черных) бурь, града, заморозков, обильных продолжительных дождей и других явлений и условий погоды. Представление о влиянии неблагоприятных метеорологических условий на сельскохозяйственное производство дает табл. 3.14.

Таблица 3.14

Влияние неблагоприятных метеорологических условий на сельскохозяйственное производство

Отрасль сельского хозяйства	Влияющие метеорологические условия и явления погоды	Последствия
1	2	3
Земледелие (зерновое хозяйство)	Длительные морозы	Вымерзание озимых
	Снег на непромерзшей почве	Выпревание озимых
	Ледяная корка	Вымерзание озимых
	Талые воды в низинах	Вьюмокание озимых
	Заморозки	
весенние	Повреждение и возможная гибель овощных культур	
осенние	Повреждение сельскохозяйственной продукции	
Сильный ветер (песчаные, пыльные бури)	Повреждение всех сельхозкультур песчаными заносами. Значительные потери	
Засуха	Гибель сельхозкультур на обширных территориях. Максимальные убытки	
Обильные дожди, вызывающие наводнения в реках	Затопление и гибель сельхозкультур на обширной площади. Максимальные убытки	
Животноводство (отгонное)	Снежный покров выше 20 см.	Выпас скота затруднен или невозможен
	Ледяная корка толщиной 1 см и более. Неблагоприятное сочетание температуры воздуха и скорости ветра. Метель, туман	

Особый урон сельскому хозяйству наносят засухи, как это имело место, например, в 1972 г. В годы жестокой засухи урожай снижается до 40 %. В 1963, 1965 и 1972 гг. недобор зерна по отношению к линии тренда составил около 25–30 млн. т, а в 1975 г. – более 50 млн. т. В 80-е годы потери в сельскохозяйственном производстве достигали 9 млрд. руб. в год. Значительные потери в сельском хозяйстве могут быть вызваны неблагоприятными условиями погоды в любой период года. Это может быть в зимне-весенний период при сохранении морозной, малоснежной погоды, а также длительной теплой и засушливой, в случае затопления посевов на 10 дней и более при быстром снеготаянии или интенсивных дождевых паводках; при возникновении сильных заморозков, требующих пересева (пересадки) сельхозкультур на части площади. Такие погодные условия влекут невосполнимые потери. Однако и эти убытки в ряде случаев могут быть минимизированы.

Проведение уборочных работ в осенний период в условиях ухудшающегося режима увлажнения (например, учащающихся дождей в Нечерноземной зоне) ведет к увеличению потерь урожая картофеля. Здесь особое значение приобретают прогнозы температуры и осадков на 3 – 10 дней.

В соответствии с содержанием прогноза потребитель оценивает характер и меру влияния ожидаемой погоды на технологию планируемой работы. Это позволяет заблаговременно внести изменения в план работы: частично или полностью приостановить данный вид работ; произвести замену одного вида работ другим; применить технические меры защиты того или иного масштаба; интенсифицировать выполнение работ и так далее. Отсюда видно, что разработка регламента погодо-хозяйственных решений и технологии их выполнения есть главное условие оптимального использования прогнозов в сельскохозяйственном производстве. В табл. 3.15 даются примеры поведения потребителя (руководство сельскохозяйственным производством) на основании агрометеорологических и метеорологических прогнозов.

Приведенная в табл. 3.15 характеристика мероприятий, оптимизирующих издержки сельскохозяйственного производства, является результатом выбранной стратегии ориентации на данные прогнозы. Другими словами, поведение потребителя, его оптимальные действия есть следствие оптимальной стратегии.

Таблица 3.15

Необходимые мероприятия, отвечающие прогнозу

Прогноз (агрометеорологический, метеорологический)	Мероприятия (примеры)
Прогноз перезимовки озимых	Определяется оптимальная площадь посева в <i>оптимальные</i> сроки
Прогноз влагозапасов на весну (использование сезонных прогнозов осадков)	Устанавливается <i>оптимальная</i> дифференциация азотных подкормок яровых культур
Прогноз норм орошения и полива (с учетом естественной влагообеспеченности)	Планирование <i>оптимальных</i> оросительных норм. Обеспечивается достаточное увлажнение и промывание корнеобитаемого слоя.
Прогноз теплообеспеченности.	<i>Оптимальный</i> выбор наиболее урожайного сорта картофеля.
Прогноз заморозков	Выбираются <i>оптимальные</i> меры защиты (дымление, укрытие растений, открытый обогрев, противозаморозковое дождевание)
Прогноз осадков в период уборки	Устанавливаются <i>оптимальные</i> сроки и технология уборки.

Экономическая полезность реализации в деле агрометеорологической и метеорологической информации представлена в табл. 3.16.

Таблица 3.16

Экономический эффект за 1983 г. некоторых видов
гидрометеорологической информации.
По данным ВНИИСХМ

Вид информации	Экономический эффект, млн. руб.
Прогнозы сроков сева сельскохозяйственных культур	32.0
Рекомендации по хлопководству	31.7
Предупреждения о заморозках и низких температурах	23.0
Рекомендации по картофелеводству	14.9
Прогноз состояния озимых на начало весны	13.1
Прогнозы созревания кормовых, чая, овощей, сои	9.2
Прогнозы и рекомендации по травам и пастбищам	9.0
Рекомендации по уборке сельскохозяйственных культур	8.7
Рекомендации по применению минеральных удобрений	6.7
Всего	148.3

3.9. Оптимизация метеорологических прогнозов в других отраслях экономики

Транспортная система России включает следующие виды транспорта: железнодорожный, автомобильный, морской, речной,

воздушный и трубопроводный (нефте- и газопроводы). Ведущее место занимает *железнодорожный транспорт*. На его долю приходится более 65 % суммарного грузооборота и около 42% суммарного пассажирооборота. В качестве сопоставления, например, для воздушного транспорта имеем соответственно следующие показатели: 0.05 и 16 % (80-е годы, СССР). В настоящее время в связи с резким уменьшением интенсивности воздушного движения железнодорожный транспорт выступает в еще более доминирующей роли.

Успешная работа железнодорожного транспорта во многом зависит от текущего и ожидаемого состояния погоды. К неблагоприятным условиям погоды относятся снегопады, мокрый снег, мокрый снег с последующим резким понижением температуры, метели, гололед и зернистая изморозь, морозы (-25°C и ниже), жара (25°C и выше), сильный ветер (≥ 15 м/с), дожди и ливни (30÷50 мм и более за сутки).

Гидрометеорологическое обеспечение железнодорожного транспорта возложено на ведомственные оперативные прогностические подразделения – геофизические станции.

Прогнозы погоды и штормовые предупреждения, детализированные по отдельным участкам железной дороги, позволяют заблаговременно подготовить рабочую силу и технику для очистки пути от снега в пределах железнодорожного узла или предотвращения иных опасных последствий, вызываемых погодой. При заблаговременности прогноза неблагоприятных условий погоды, равной 6–12 ч, защитные меры оказываются *эффективными*.

Оптимальное использование прогнозов тех или иных опасных явлений погоды требует разработки специального регламента решений и производственных мероприятий, обеспечивающих предотвращение убытков. Это относится прежде всего к прогнозам *метелей, гололеда, намерзания мокрого снега, длительных снегопадов*.

Рассмотренные выше методы выбора оптимальных решений и оптимальной стратегии полностью применимы и к данному потребителю.

Особое место в гидрометеорологическом обеспечении занимает *автомобильный транспорт*.

Велика роль автотранспорта в пассажирских и грузовых перевозках. По объему грузооборота автотранспорт занимает третье место, а по объему пассажирских перевозок (на 1989 г.) – первое.

В дополнение к специальному (промышленному) транспорту в последние годы быстро растет транспорт индивидуального назначе-

ния. Это потребовало повышенного внимания прогностических подразделений к метеорологическому обеспечению наземного транспорта, особенно в холодную часть года.

Отличительной особенностью автомобильного транспорта является его широкая область использования: в горнодобывающей промышленности, в транспортных операциях (лес, руда, контейнерные грузы и многое другое), в транспортной системе типа морской флот – автотранспорт – железнодорожный транспорт и во многих других сферах экономики. Особо выделяются большегрузные автопоезда автопредприятий международных перевозок. Неблагоприятные условия погоды в пути (снегозаносы, сильное обледенение) могут вызвать значительные прямые потери. Так, автотранспортная фирма Санкт-Петербурга за сутки простоя одного автопоезда недополучала 450 долл. США (1997 г.).

Наиболее неблагоприятные условия работы автотранспорта складываются в холодное полугодие. Максимальные убытки возможны при снежных заносах. В конце декабря 1996 г. в Ставропольском крае убыток от снежных заносов, сопровождавшихся ураганным ветром, составил 270 млрд. руб. Такая же крайне неблагоприятная погода в этот период отмечалась на Военно-Грузинской дороге. Температура воздуха при шквальном ветре понижалась до -25°C . Эти условия опасны не только для транспорта, но и для жизни людей. Согласно исследованиям, выполненным рядом авторов, оптимальной для автотранспортных предприятий считается ориентация на оперативные методические прогнозы. Так, оптимальное использование Спецтрансом прогнозов в крупном городе с общей протяженностью очищенных дорог, равной 100 км, позволило получить экономический эффект около 300 тыс. руб. за зимний сезон в 1980 – 1985 гг. (или около 2 млрд. руб. на 1997 г.). По другим оценкам, использование прогнозов снегопадов автодорожными службами за три зимних месяца примерно тех же лет по Ленинградской области позволило получить экономический эффект около 800 руб./км, т.е. около 80 тыс. руб на 100 км.

Немаловажное место в экономике страны занимает воздушный транспорт. Из всех видов транспорта авиация удостоилась наибольшего внимания метеорологов. Зависимость ее от условий погоды не только общеизвестна, но и требует более точных методов прогнозирования как по пункту посадки, так и по маршруту.

Ранжировка различных отраслей национальной экономики в зависимости от условий погоды впервые была выполнена в США Р.М. Уайтом в 1962 г. По степени подверженности влиянию погоды авиацию поставили на *третье место* после морского (включая рыболовный) флота и сельского хозяйства, в то же время степень вклада авиации в национальный доход невелика (10-е место из 13). И все же метеорологическому обеспечению авиации уделяется столь большое внимание по ряду причин. Прежде всего воздушный транспорт обладает высокой *пространственно-временной мобильностью*. *Авиация позволяет наиболее полно обеспечить связь и общение, решая при этом государственные, коммерческие и социальные интересы страны.*

Заметим, что климатические стратегии для воздушного транспорта неприемлемы. Остается возможность выбора доверия оперативному методическому прогнозу или ориентации на исходную погоду – инерционный прогноз.

Оценка успешности и экономической полезности оперативных авиационных прогнозов показывает в большинстве их преимущество перед инерционными. Отсюда и следует выбор оптимальной стратегии данным потребителем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проводимые в стране экономические реформы предполагают и новую стратегию в гидрометеорологической практике, особенно в той ее части, которая призвана обеспечить полезность прогностической информации во всех отраслях экономики.

Совершенно очевидно, что известные нам крупномасштабные и более частные производственные проблемы, оперативные и перспективные хозяйственные задачи могут быть успешно решены только в том случае, если оптимально использовать погодоклиматические ресурсы.

Прочтение этой книги еще раз подтверждает, что знания о погоде и климате позволяют снижать или полностью предотвращать потери, выполнять текущие производственные операции с минимальными издержками, планировать хозяйственные мероприятия в рамках метеоролого-экономического обоснования. *Все это возможно, если потребитель постигает и внедряет на практике концепцию оптимального использования прогнозов.* Действительно, если ускорение научно-технического прогресса ведет к риску тотального истощения топливных и иных физических ресурсов, то прогнозы как ресурсное богатство неисчерпаемы. Более того, развитие гидрометеорологической науки и совершенствование прогнозов открывают все новые возможности их экономически выгодной реализации.

Оптимизация прогнозов охватывает практически не только все сферы производственной деятельности, но и все ее формы: перевозки, размещение, выбор, организацию и т.п.

Приведенная в книге аргументация всеобъемлющего и экономически выгодного назначения метеорологического обеспечения позволяет, как уже очевидно, решать проблему оптимизации метеорологических прогнозов в рамках *экономической метеорологии*.

В книге не предполагалось изложение всех существующих методов оптимизации, возможных в экономической практике. Выделены только те, преимущественно в рамках байесовского подхода, которые на сегодня уже практически доступны как механизмы достижения экономической выгоды за счет метеорологических прогнозов.

Подчеркнем здесь некоторые положения, уяснение которых крайне важно с точки зрения специфики и широкого спектра возможностей использования прогнозов. Прежде всего необходимо

многоцелевое исследование функций потерь. Достаточно обратиться, например, к такой универсальной метеорологической характеристике, как ветер. Воздействие ветра на производственную и социальную сферу столь разнообразно и столь значительно, что эту часть функционального отображения потерь вправе исследовать, апробировать в деле и изучать как первоочередную. При этом, конечно же, сохраняется необходимость исследования комплексного воздействия ветра и сопутствующих ему явлений, таких, как метель, пыльная буря, шквальные усиления ветра при засухах, гололед и другие. Заметим, что хозяйственная специфика потребителя очень разнообразна, а значит разработка универсальной функции потерь – задача крайне сложная, если вообще разрешимая, хотя унификация ее не исключается.

Остановимся далее на следующем положении. Читатель, очевидно, обратил внимание, что в книге дискретизация функции потерь сведена к простейшей форме – к матрице потерь второго порядка. Такое представление функции потерь известно давно и широко используется на практике. Однако при таком подходе, когда потребитель в своем погодо-хозяйственном регламенте имеет только два решения типа «да–нет», достигаемая экономическая полезность прогнозов минимальна. Дискретизация прогнозов, а значит и выбор размерности матрицы потерь, зависит от приемлемого для потребителя числа погодо-хозяйственных решений. Увеличение числа решений по меньшей мере до трех, а следовательно, и практическое использование матрицы потерь третьего порядка ведет к заметному росту экономического эффекта прогнозов.

Обратим внимание еще на одно обстоятельство. Выгодная реализация прогнозов в деле достигается по меньшей мере при двух условиях: высокой надежности метеорологической информации, в частности прогнозов, и умелой и обоснованной технологии их использования потребителем. Возможно, эти условия еще не достаточны для полноты решения проблемы, но пока крайне необходимы.

В хозяйственной практике оптимизация прогнозов предусматривается как *долговременная процедура* взаимодействия поставщика и потребителя, в процессе которого осуществляется апробация экономической полезности прогнозов. В связи с этим особое значение приобретает подготовка информационных массивов метеорологического (от поставщика) и экономического (от потребителя) содержания.

Изложенные в учебном пособии методы оптимизации, иллюстрированные примерами, свидетельствуют о том, что в современной отечественной метеорологической практике уже сложился вполне определенный метеорологический стереотип оптимального исследования прогнозов.

Следует отметить, что предстоят еще дальнейшие исследования в практической области реализации прогнозов, как в наметившихся направлениях, так и в поиске новых.

Список литературы

1. *Хандожко Л.А.* Метеорологическое обеспечение народного хозяйства. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 231 с.
2. *Хандожко Л.А.* Оценка экономического эффекта использования метеорологических прогнозов. /Межвузовский сб. научных работ «Физика пограничного слоя атмосферы», 1984, вып. 85, с. 132 – 142.
3. *Хандожко Л.А.* Экономические аспекты метеорологического обеспечения народного хозяйства. – Юбилейный межвузовский сб. (Изд. ЛПИ (ЛГМИ)), 1987, вып. 96, с. 83 – 93.
4. *Хандожко Л.А.* Практикум по экономике гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства. – СПб.: Гидрометеоздат, 1993. – 311 с.
5. *Хандожко Л.А.* Региональная оценка успешности и экономической полезности метеорологических прогнозов. (Новые аспекты в разработке проблемы). – СПб.: Изд. РГТМИ, 1994. – 35 с.
6. *Волконский Н.Ю., Волконский Ю.Н.* Оптимальная организация специализированного обеспечения прогнозами. – Метеорология и гидрология, 1985, №12, с. 12 – 18.
7. *Гроот М. Дс.* Оптимальные статистические решения. – М.: Мир, 1974. – 491 с.
8. *Жуковский Е.Е.* Метеорологическая информация и экономические решения. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 303 с.
9. *Ланге О.* Оптимальные решения. – М.: Прогресс, 1967. – 285 с.
10. *Хей Дж.* Введение в методы байесовского статистического вывода. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 335 с.
11. *Шаймарданов М.З., Кориунов А.А.* Использование гидрометеорологической информации в различных отраслях экономики. – Новые тенденции в гидрометеорологии. – М.: Росгидромет, 1995, вып. 2, с. 20 – 25.
12. *Khandozko L.A.* Principles for the development of loss functions and their practical implementation in specifics sectors of the economy. – In: Techn. Conference, Geneva, 26 – 30 March, 1990. WMO, 1990, № 733, p. 66–71.
13. *Бедрицкий А.И., Кориунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З.* Проблема экономически выгодного использования метеорологических прогнозов. – Метеорология и гидрология, 1998, № 10, с. 5 – 17.
14. *Бедрицкий А.И., Кориунов А.А., Хандожко Л.А., Шаймарданов М.З.* Показатели влияния погодных условий на экономику: региональное распределение экономических потерь и экономической выгоды при использовании гидрометеорологической информации и продукции. – Метеорология и гидрология, 1999, №3, с. 5 – 17.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
1. Байесовский подход к решению оптимизационных задач	8
1.1 Элементы теории стратегических игр. Ситуация полной неопределенности	8
1.2 Методы выбора решений в условиях полной и частичной неопределенности	9
1.2.1 Метод минимакса	10
1.2.2 Принцип Гурвича	12
1.2.3 Принцип Сэвиджа	13
1.2.4 Метод Байеса – Лапласа (частичная неопределенность)	14
1.3 Общая схема разработки оптимальных решений на основе метеорологических прогнозов	16
1.4 Анализ прогностической информации и учет теоремы Байеса	19
1.5 Анализ экономической информации	29
1.6 Функция полезности и форма ее представления	32
1.6.1 Функция потерь. Матрица потерь	34
1.6.2 Критерии оптимальности	38
1.7 Выбор оптимальных решений. Байесовский подход	39
1.7.1 Оценка средних потерь	39
1.7.2 Оперативные решения потребителя	41
1.7.3 Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии при кардинальных мерах защиты	44
1.7.4 Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии при частичных (некардинальных) мерах защиты	51
1.7.5 Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии на основе учета предотвращенных потерь	63
1.7.6 Полный учет предотвращенных потерь	68
2. Критериальная оценка выбора оптимальной стратегии	70
2.1 Выбор оптимальной климатологической стратегии с учетом отношения «затрат к убыткам»	70
2.2 Совместный анализ средних потерь при использовании климатологических и методических прогнозов. Номограмма потерь ..	73
2.2.1. Пороговая оправдываемость прогнозов	79
2.3 Учет некардинальности мер защиты	83
2.4 Учет предотвращенных потерь	87
2.5 Требования потребителя к успешности метеорологических прогнозов ..	89
2.6 Экономическая полезность прогнозов. Условие выбора оптимальной стратегии	92
2.7 Выбор оптимальной стратегии в условиях статистической неустойчивости матриц сопряженности	100
3. Оптимальные погодо-хозяйственные решения в отдельных отраслях народного хозяйства	104
3.1. Потребители метеорологических прогнозов	104

3.2. Метеоролого-экономическая характеристика природопользования	110
3.3. Оптимизация как достижение метеоролого-экономической цели	114
3.4. Некоторые особенности оперативных погодо-хозяйственных решений в рамках гидрометеорологического природопользования	122
3.5. Оптимальное использование прогнозов погоды в энергетике	126
3.6. Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии в организациях морского и речного флота	135
3.7. Выбор оптимальных решений и оптимальной стратегии в строительных организациях	142
3.8. Оптимальное использование метеорологических прогнозов в сельском хозяйстве	149
3.9. Оптимизация метеорологических прогнозов в других отраслях экономики	152
Заключение	156
Список литературы	159

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Леонид Андреевич ХАНДОЖКО

**ОПТИМАЛЬНЫЕ
ПОГОДО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РЕШЕНИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор О.Д. Рейнгерц

ЛР № 020309 от 30.12.96

Подписано в печать 20.12.99 г. Формат 60х90 1/16

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ.л. 10,1

Уч.-изд.л. 12,6 Тираж 500. Зак. Р-21

РГТМУ. 195196, СПб, Малоохтинский пр., 98.

Отпечатано ВСОК ВМФ
