

Л 50
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

**ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА**

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

**Аспирант
ЛЕСКИН
ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ
КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ПОТРЕБНОСТИ В ПРОДУКЦИИ ОТРАСЛИ
(НА ПРИМЕРЕ МУКИ)
В УСЛОВИЯХ ОАСУ—МИНЗАГ СССР**

Специальность 05.13.07—автоматизированные системы
переработки информации и управления
(в пищевой промышленности)

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

ОДЕССА — 1975

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В. Ломоносова

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Аспирант ЛЕСКИН Владимир Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ
КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПО-
ТРЕБНОСТИ В ПРОДУКЦИИ ОТРАСЛИ (НА
ПРИМЕРЕ МУКИ) В УСЛОВИЯХ ОАСУ -
МИНЗАГ СССР.

Специальность 05.13.06. - автоматизированные системы
переработки информации и управления (в пищевой про-
мышленности).

Переучет 1977

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1975

✓ 012583

ОНАХТ

02.07.12

Исследование и разра



v012583

Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ленности им. Ломоносова
Б И Б Л И О Т Е К А

Работа выполнена на кафедре "Автоматизация производственных процессов" Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор ПЛАТОНОВ П.Н.;

кандидат технических наук, доцент МИРОНОВ И.С.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор КРИНЕЦКИЙ И.И. ;

кандидат экономических наук, доцент ПОДЗОЛОВ Г.Г.

Ведущая организация - Всесоюзное научно-производственное объединение "Пищепромавтоматика",
г. Одесса,

Автореферат разослан "28" февраля 1975 г.
Защита диссертации состоится "28" марта 1975 г.
на заседании Совета по присуждению ученых степеней факультета автоматизации и приборостроения Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОТИПШ.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим прислать в Ученый Совет института по адресу: 270039. г. Одесса, А-39, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук

Л.А. Запорожец

Автоматизированные системы управления (АСУ) сложными объектами вызваны к жизни особенностями функционирования народного хозяйства в условиях развитого социализма.

XXIV съезд КПСС выдвинул в качестве первоочередной задачи в области совершенствования планирования, как одной из основных частей управления, повышение его научного уровня. Планирование "должно опираться на более точное изучение общественных потребностей, на научные прогнозы наших экономических возможностей, на всесторонний анализ и оценку различных вариантов решений, их непосредственных и долгосрочных последствий" (Доклад ЦК КПСС XXIV съезду. Стенографический отчет, т. I, стр. 91).

Создание в нашей стране отраслевых автоматизированных систем управления (ОАСУ) вызвано рядом причин: непрерывно растущими объемами информации, необходимой для управления; необходимостью оптимального решения задач управления при воздействии множества стохастических факторов; необходимостью своевременности и оперативности принятия решений и оценки последствий их выполнения.

В силу этих причин в каждой ОАСУ в процессе подготовки управляющих решений необходимо анализировать не только прошлую и текущую информацию об объекте управления, но и прогнозную информацию о будущих состояниях объекта, чтобы оценить альтернативы при принятии того или иного решения.

Прогнозирование как оперативное, так и долгосрочное следует рассматривать как один из эффективных способов совершенствования планирования и управления, как один из неотъемлемых элементов разрабатываемых ОАСУ и всего народного хозяйства в целом.

Целью диссертации является исследование и разработка элементов автоматизированной системы обработки информации для краткосрочного прогнозирования потребности в продукции отрасли заготовок СССР. Эту цель необходимо достичь при выпол-

нении следующих требований:

- время упреждения при прогнозировании должно составлять до полутора лет (от I до 6 кварталов);
- точность автоматизированного прогнозирования должна быть не ниже достигаемой в настоящее время традиционными методами точности оценок специалистов в Министерствах заготовок;
- прогнозирование должно начинаться раньше составления проекта плана отпуска продукции, основанного на традиционных оценках;
- прогнозирование должно осуществляться не только по кварталам, но и по месяцам (с глубиной прогноза от I до 12 месяцев), т.к. в настоящее время месячные оценки не выполняются.

Выполнение указанных требований позволит заменить оценки специалистов прогнозами, получаемыми на основе разработанных в диссертации методов автоматизированного прогнозирования заблаговременно и с более высокой точностью.

Научная ценность выполненного исследования заключается в впервые произведенном анализе особенностей прогнозируемых процессов в отрасли заготовок, в обоснованном выборе для них методов прогнозирования и разработке новых адаптационных моделей - траекторного прогнозирования и интегрально-экспоненциального сглаживания, отличающихся высокой точностью и достоверностью прогнозирования.

Практическая ценность работы состоит в создании алгоритмов, реализованных на ЭВМ, обеспечивающих оперативное прогнозирование потребности республик страны в целом в муке в ассортименте с глубиной прогнозирования два года по кварталам и один год по месяцам с точностью, превышающей точность планирования.

Результаты исследования внедряются для определения с высокой точностью потребности народного хозяйства в муке до двух лет вперед, для разработки на этой основе планов производства и распределения муки, для управления сырьевыми запасами зерна. Внедрение оперативных прогнозов позволит автоматизировать решение важнейших задач планирования в отрасли.

Несмотря на исключительно обширную литературу в области

прогнозирования временных рядов, высокие требования к точности прогнозирования и специфические условия рассматриваемой отрасли заготовок не позволяли, как показали результаты экспериментальных исследований, воспользоваться известными из литературы результатами, что и явилось основой для выполнения данной работы.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Она изложена на 125 стр. машинописного текста, содержит рис. 15, табл. 73, библи. 97.

Актуальность и необходимость оперативного прогнозирования в отрасли заготовок.

Одним из предметов планирования в отрасли заготовок является отпуск муки по рыночному фонду в ассортименте на уровне страны и отдельных республик.

В диссертации исследуется прогнозирование отпуска муки в одной из крупнейших республик - Украине. Рассматривается одна из наиболее важных для народного потребления компонент питания, составляющая свыше 80% от общего потребления хлебопродуктов в СССР.

Общее количество прогнозируемых временных рядов, отражающих отпуск муки отраслью заготовок СССР, учитывая территориальное, номенклатурное, ассортиментное и др. деления, составит в отрасли, по предварительным оценкам, несколько сот рядов.

В диссертации рассматривается прогнозирование только четырех рядов, отражающих потребность в муке в СССР как в целом по рыночному фонду, так и в основных сортах муки. Но по каждому из них необходимо перед планируемым годом получить 12 помесечных прогнозов и до 8 поквартальных прогнозов. В процессе оперативного управления, кроме того, потребуются ежемесячное и ежеквартальное корректировочное прогнозирование с использованием новых данных.

В интервале одного планируемого года осуществляются следующие виды прогнозов:

- квартальное прогнозирование в середине текущего года на следующий год;

- квартальное прогнозирование в конце текущего года на следующий год;
- квартальное прогнозирование в течение планируемого года на I - 3 квартала в целях корректировки;
- месячное прогнозирование в конце текущего года на следующий год;
- месячное прогнозирование в течение планируемого года на ближайшие месяцы в целях корректировки.

Прогнозы потребности в муке в ассортименте по рыночному фонду в территориальном разрезе и на различные периоды времени чрезвычайно важны, так как используются при разработке планов распределения хлебопродуктов, планов их перевозок внутри и между республиками, при разработке планов производства муки на следующий год с разбивкой по кварталам.

Разрабатываемая ОАСУ-Минзаг СССР должна охватить все республики и области страны, при этом, кроме муки, необходимо прогнозировать потребность народного хозяйства во всех других видах хлебопродуктов. Отсюда виден большой потенциальный объем прогностической деятельности в отрасли заготовок.

Главная сложность прогнозирования в отрасли, помимо большого объема работ, происходит от исключительно высоких требований к точности прогнозов потребности в хлебопродуктах.

Исключительную важность точности выработки указанных прогнозов определяют следующие обстоятельства:

- необходимость нормального обеспечения потребности населения в хлебопродуктах;
- необходимость обеспечения качественными хлебопродуктами и в требуемом ассортименте по отдельным районам страны;
- огромные масштабы производства, хранения, распределения, транспортировки хлебопродуктов;
- значительная распределенность по стране заготовок и производства различных видов хлебопродуктов в дифференцированном ассортименте.

Высокие требования к точности прогнозов обусловлены тем, что прогнозы используются для оптимального решения задач управления при воздействии множества стохастических факторов, для принятия оперативных решений и оценки их выполнения. Крат-

краткосрочное прогнозирование, осуществляемое с высокой точностью, является средством выработки оптимальной тактики при отсутствии точной и надежной информации о предстоящем периоде.

Существенные отклонения прогнозов от фактической потребности в ту или иную сторону могут привести к ошибкам при разработке планов производства и распределения муки, к значительным дополнительным затратам на транспортировку и хранение зерна и продукции, в некоторых районах могут вызвать временную нехватку хлебопродуктов нужного качества и ассортимента.

Эти обстоятельства определяют актуальность исследования и особую ответственность рассматриваемых в диссертации краткосрочных прогнозов потребности в муке.

Прогнозирование как элемент системы управления.

В условиях создания в нашей стране ОАСУ повышается качество управления социалистическим плановым хозяйством благодаря гибкости управления, основанного на регулирующем воздействии заблаговременно полученных прогнозов.

Проведенное в работе исследование функциональных связей прогнозирования и планирования показывает, что прогноз является неотъемлемой предпосылкой планирования, позволяющей создать научно-информационный задел для составления плана.

Для оценки функции краткосрочного прогнозирования в отрасли заготовок рассматривается эта функция, как элемент в системе управления отраслью. При разработке ОАСУ представляется целесообразным включение в нее автоматизированной системы прогнозирования (АСП), оценивающей возможные в будущем состояния в отрасли на всех ее уровнях. Основным смыслом создания отраслевой АСП состоит в возможности ее адаптации к данной отрасли.

Создание АСП в отрасли позволит уменьшить затраты на прогнозирование и повысить эффективность ОАСУ благодаря получению обоснованных прогнозов в сроки, предшествующие периоду планирования.

Следует ожидать, что АСП повысит эффективность функцио-

нирования отрасли за счет уменьшения времени и числа корректировок планов, например, производства и отпуска продукции, за счет уменьшения издержек на транспортировку и хранение продукции, за счет всех тех "невидимых выгод", которые удастся получить при наличии достоверной информации о будущих периодах.

Разработка прогнозов в исследуемой системе так же, как и в любой системе, состоит из ряда этапов, которые в данной работе включают:

- 1) выявление целей и постановку задач прогнозирования;
- 2) создание информационной базы, обладающей достоверностью и представительностью;
- 3) выявление тенденций прогнозируемых процессов;
- 4) анализ и выбор методов прогнозирования для поставленных задач с учетом имеющихся тенденций;
- 5) разработку алгоритмов прогнозирования, их обучение и проверку на основе фактических данных, выбор практически пригодных моделей;
- 6) разработку адаптационных алгоритмов прогнозирования на основе выбранных моделей;
- 7) расчет прогнозов по практически приемлемым методам, обсуждение прогнозов, введение коррективов в случае необходимости, выдачу рекомендаций по использованию тех или иных моделей для конкретных задач краткосрочного прогнозирования в отрасли заготовок.

Задачи краткосрочного прогнозирования в условиях ОАСУ-Минзаг СССР.

Рассматриваемая отрасль заготовок является сложным объектом управления, включающим в себя тысячи подразделений на разных уровнях. Для совершенствования управления отраслью в настоящее время разрабатывается ОАСУ-Минзаг СССР, которая, в конечном счете, должна способствовать обеспечению наиболее полного удовлетворения потребности народного хозяйства в качественных хлебопродуктах и комбикормах.

Для решения задач управления одной из составных частей входной информации, как отмечает В.М.Глушков, является спрос на продукцию отрасли. В этом случае перед ОАСУ возникает за-

дача прогнозирования спроса сообразно с условиями функционирования данной отрасли.

В ОАСУ-Минзаг СССР для решения задач прогнозирования, планирования, учета, анализа и контроля с целью максимально возможного удовлетворения потребности народного хозяйства в хлебопродуктах и комбикормах разрабатывается специализированная подсистема управления.

Среди задач этой подсистемы значительный удельный вес занимают несколько комплексов задач прогнозирования спроса (на муку, на крупу, на комбикорма, на зерно — по сортам, видам и рецептам для подотраслей Министерства заготовок и для всего народного хозяйства). Учитывая большое количество отдельных задач прогнозирования в подсистеме, обусловленных иерархическим, территориальным, целевым, ассортиментным и пр. делениями, очевиден большой объем прогностической деятельности в этой подсистеме. Отсюда следует вывод о необходимости и актуальности автоматизации прогнозирования в отрасли заготовок.

В указанной подсистеме решается, как одна из основных, задача краткосрочного прогнозирования потребности в хлебопродуктах в ассортименте на разных уровнях. Ее важное значение определяется необходимостью точно оценить устойчивое увеличение выпуска продукции для полного удовлетворения потребления. Установление потребности в продукции данной отрасли и определение возможных вариантов удовлетворения ее является важным элементом отраслевого прогнозирования.

На первоначальном этапе решения задач краткосрочного прогнозирования продукции выбрана задача прогнозирования спроса на муку в целом и в ассортименте по рыночному фонду на уровне республики. Такие прогнозы чрезвычайно важны при разработке планов распределения хлебопродуктов, планов их перевозок, планов производства муки. Важность прогнозирования расхода муки по рыночному фонду объясняется тем, что мука составляет свыше 80% от общего потребления хлебопродуктов, используется повсеместно с учетом удовлетворения вкусов населения, имеет тенденции к росту за счет централизованного снабжения.

В настоящее время при планировании на следующий год аппа-

рат Министерства заготовок получает заявки на продукцию не полностью и с существенным запозданием, поэтому приходится оценивать будущие потребности, пользуясь услугами специалистов Министерства.

Прошедшие несколько этапов согласований (в течение июля - ноября текущего года) и утвержденные в конце года фонды на следующий год многократно корректируются в течение этого года (до 15 раз ежеквартально в практике Министерства заготовок СССР). Изменение фондов значительно усложняет работу Министерства, вызывает многочисленные перерасчеты планов производства и отпуска хлебопродуктов. Министерству необходимо иметь достоверные сведения о потребности в хлебопродуктах в следующем году (с разбивкой по кварталам), что позволит свести к минимуму непроизводительные перевозки и уменьшить издержки на снабжение, снизить число корректировок плана отпуска хлебопродуктов.

Краткосрочное прогнозирование потребности в хлебопродуктах является неотъемлемым элементом функционирования не только подсистемы, решающей задачи максимально возможного удовлетворения этой потребности народного хозяйства, но и других важных подсистем отрасли.

Исследование по выбранной задаче краткосрочного прогнозирования отпуска муки на уровне республики (УССР) показывает, что при прогнозировании на следующий год (по кварталам) время упреждения должно составлять не менее 6 кварталов, чтобы обеспечить данные для планирования на будущий год в середине предыдущего. При этом точность прогнозирования, выполненного в середине текущего года, не должна уступать точности окончательных планов, утверждаемых в существующих условиях в конце этого же года. Кроме того, ставится задача прогнозирования спроса по месяцам следующего года, т.к. в настоящее время месячные величины отпуска муки получаются как результат равномерного деления квартальных величин, что не соответствует действительности.

Создание оперативного автоматизированного прогнозирования в отрасли заготовок определило постановку задач настоящего исследования:

I. Анализ и выбор методов прогнозирования для рассматри-

ваемого класса процессов, а также критериев точности прогнозирования.

2. Исследование выбранных методов для построения оптимальных моделей прогнозирования.

3. Исследование возможности построения адаптационного алгоритма прогнозирования, учитывающего специфику прогнозируемых процессов.

4. Исследование объема вычислительных работ в зависимости от ряда параметров прогнозирования для оценки временных затрат на расчет прогнозов.

Решение поставленных задач позволит автоматизировать прогнозирование реальных процессов отрасли заготовок, создаст базу для дальнейшего развития отраслевого прогнозирования.

Анализ и выбор методов прогнозирования и критериев точности прогнозирования.

Анализ заключается в определении (на основе имеющихся в отечественных и зарубежных трудах рекомендаций) областей применения различных методов прогнозирования, в выявлении требований к информационным массивам, отображающим исследуемые процессы, со стороны методов прогнозирования.

Методы прогнозирования анализировались с точки зрения предназначения их для прогнозов различной глубины, для различных информационных массивов – качественных или количественных, больших или малых, стационарных или нестационарных и т.д., а также с точки зрения их технической и организационной реализации.

Анализ методов прогнозирования начинается с фундаментальных работ А.Н.Колмогорова и Н.Винера. Рассматривается расширение теории Колмогорова – Винера для различных случаев Л.Заде и Дж.Рагаззини, М.Г.Крейном и А.М.Ягломом, Г.Боде и С.Шенноном, Р.Калманом. Методы этих авторов предназначены для линейного сглаживания и прогнозирования стационарных случайных процессов.

Рассматриваются также методы прогнозирования нестационарных процессов, разработанные Р.Дэвисом, В.С.Пугачевым, Э.Фармером; адаптивные методы прогнозирования, предложенные Д.Габором, А.Г.Ивахненко, В.Г.Лапой и др.

Анализируются распространенные на практике субоптимальные методы, в частности, экспоненциальное сглаживание, предложенное Р.Брауном, и его модификации, сделанные Дж.Боксом, Дж.Дженкинсом и др.

Выполненный анализ методов прогнозирования является одним из необходимых элементов для выбора соответствующего метода для рассматриваемых процессов.

С другой стороны, необходимо определить особенности прогнозируемых процессов путем статистического анализа.

Статистический анализ временных рядов, отображающих отпуск муки в целом по рыночному фонду в УССР, показывает значительную устойчивую связь (коэффициенты автокорреляции составляют $\hat{\gamma}_k(\tau) = 0,8+0,9$) между значениями процесса в одноименные месяцы и кварталы разных лет при общей тенденции к увеличению отпуска муки. Исследования позволили принять гипотезу о нормальном законе распределения и квазистационарности процесса.

Анализ методов прогнозирования и исходных временных рядов позволяет сделать выбор конкретных методов для задач отрасли заготовок. Основным при рассмотрении различных подходов к выбору метода (у В.А.Лисичкина, Г.Хауштейна, Э.Янча и др.) является указание на необходимость четко и полно сформулировать те условия, допущения и ограничения, с учетом которых будет строиться прогнозирующая модель. Суть состоит не в выборе сложнейших методов, а в творческом подходе к подбору методов и их модификаций для прогнозируемого процесса.

Наиболее полно в настоящее время вопрос о выборе соответствующих методов рассматривает В.А.Лисичкин. Однако, применение предложенной им матрицы выбора методов приводит к необходимости исследовать не менее десятка методов для прогнозируемых рядов.

При выборе методов прогнозирования для исследуемых процессов учитывались следующие моменты:

1. Прогнозирование является краткосрочным, проводится для довольно высокого уровня (республики).

2. Исходная информация является количественной, имеет стационарный характер, при расширении задач прогнозирования значительно увеличивается объем информации.

3. Следует ожидать, что наличие автокорреляции между

значениями в различные циклы процесса сохранится вследствие стабильности исследуемых показателей в течение многих лет.

4. Необходимо выбирать более простые, но достаточно точные методы, в частности, субоптимальные.

5. Для верификации прогнозов следует получить еще несколько прогнозных значений другими методами.

6. Выбор методов прогнозирования, адекватных процессу, является первым этапом на пути создания адаптационных алгоритмов.

На основе требований об адекватности методов прогнозирования и исследуемых временных рядов, учитывая вышеперечисленные моменты, а также проведенные автором предварительные экспериментальные исследования различных методов, для задач прогнозирования отпуска муки в системе Минзага СССР выбраны три модели экспоненциального сглаживания и две авторегрессионные модели. Рассмотренные в диссертации практические рекомендации по использованию этих методов, их достоинства и недостатки позволяют сделать вывод о правильности такого выбора.

Для оценки качества прогнозирования проведен анализ различных критериев, используемых в работах А.Н. Колмогорова, Н. Винера, А.М. Яглома, Н.И. Андреева, О.М. Козлова, В.С. Пугачева и др. Учитывая, что прогнозируемые ряды являются стационарными случайными функциями с нормальным распределением, в качестве критерия точности прогнозирования этих функций принят критерий минимума средней квадратической ошибки.

Аналогичный критерий принят и для оценки точности планирования, что позволяет сопоставлять результаты прогнозирования и планирования. Средние квадратические ошибки кварталного и месячного планирования (при сравнении планов на каждый следующий год, утвержденных в декабре предыдущего, с фактическими значениями) отпуска муки в целом по рыночному фонду в СССР за 1968 - 1970 г.г. составили соответственно $\sigma_{пл. кв.} = 38$ тыс. тонн и $\sigma_{пл. мес.} = 28,5$ тыс. тонн (в дальнейшем размерность при ошибках опускается).

Исследование авторегрессионных моделей прогнозирования.

Для прогнозирования выбраны две модели, линейная:

$$X_{t+\tau}^* = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_{t-N+i} \quad (1)$$

и мультипликативная:

$$X_{t+\tau}^* = a_0 \cdot \prod_{i=1}^N X_{t-N+i}^{a_i}, \quad (2)$$

где:

- $X_{t+\tau}^*$ — прогнозные значения;
- $a_0, a_1, \dots, a_N$ — коэффициенты модели, зависящие от N и τ ;
- $X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-N}$ — значения процесса в моменты времени $t, t-1, \dots, t-N$, предшествующие прогнозируемому периоду;
- N — длина предистории;
- τ — время упреждения.

Задача получения оптимальной прогнозирующей модели заключается в определении таких коэффициентов $a_0, \dots, a_N$ (при определенных значениях N и τ), при которых выполняется условие:

$$\sigma^2 = M[X_{t+\tau} - X_{t+\tau}^*]^2 = \min. \quad (3)$$

Расширенная постановка задач исследования прогнозирующих моделей состоит из следующих этапов:

1. Определение оптимального (минимального) периода обучения L_{opt} , на основе которого можно получить оптимальную функцию. Ее отыскание осуществлялось при изменении длины периода обучения от $L_{max} = 84$ до $L_{min} = 24$ с шагом $\Delta L = 12$ для месячных данных и от $L_{max} = 28$ до $L_{min} = 8$ с шагом $\Delta L = 4$ для квартальных данных.

2. Определение при каждом L оптимальных параметров модели (в смысле минимума σ на периоде проверки) при различных значениях длины предистории N и времени упреждения τ . Эти величины для месячных данных изменялись в диапазоне: $N = 1+12, \tau = 1+12$, для квартальных: $N = 1+8, \tau = 1+8$.

3. Введение ряда гипотез, основанных на свойствах прогнозируемых процессов. Это позволяет отыскать закономерности определения оптимальных прогнозирующих функций, используемых

в модели.

Предполагается на основе достоверно выявленных циклических закономерностей во временных рядах, отображающих исследуемые в данной работе процессы, что существует функциональная связь между длиной предистории и временем упреждения.

Предполагается на основе цикличности и наличия функциональной связи между N и τ , что существует наименьший период обучения, такой, что при различных периодах обучения, по длине больших или равных указанному, параметры модели мало изменяются.

Исходя из требования минимальности исходных данных для прогнозирования, следует выбирать для обучения наименьший период. Близость параметров позволит не пересчитывать коэффициенты модели при появлении каждого нового значения процесса, сохраняя их, как минимум, в течение одного цикла.

На основе этих двух гипотез, а также считая, что указанные закономерности сохраняются в будущие периоды, появляется возможность для исследуемых процессов рассчитывать прогнозы на несколько периодов вперед, минуя промежуточные периоды, с примерно одинаковой точностью.

Предполагается, учитывая свойства прогнозируемых процессов, что при различных значениях длины периода обучения, больших или равных наименьшему, функциональная связь между N и τ остается постоянной. Это позволяет определить связь между N и τ на наименьшем периоде обучения и использовать установленные соотношения в процессе прогнозирования.

При описанной постановке задачи матрица условных уравнений для, например, линейной авторегрессионной модели имеет следующий вид:

$$\begin{cases} a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_{ti} = X_{t_{N+\tau}} \\ a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_{t_{i+1}} = X_{t_{N+1+\tau}} \\ \dots \dots \dots \\ a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_{t_{L-N-\tau+1}} = X_{t_L} \end{cases} \quad (4)$$

Методика прогнозирования на несколько периодов вперед, минуя промежуточные, названа траекторной стратегией прогнозирования.

Задача исследования авторегрессионных моделей прогнозирования в расширенной постановке реализована на ЭЦВМ. Полученные в результате расчетов средние квадратические ошибки позволяют анализировать и делать выбор оптимальных значений L , N и τ , позволяют оценивать взаимосвязь N и τ .

Анализ ошибок месячного прогнозирования по обеим моделям при значениях $L = 84+24$ позволяет сделать следующие заключения:

1. При $L = 84+36$ для каждого значения τ наблюдается, что минимальное (или очень близкое к нему) значение средней квадратической ошибки σ достигается при вполне определенных значениях N , что подтверждает гипотезу о функциональной связи N и τ . Оптимальные значения N_{opt} и τ_{opt} (при которых получается σ_{min}) для месячного прогнозирования связаны соотношением:

$$N_{opt} + \tau_{opt} = 13 \quad (5)$$

2. При $L = 84+36$ значения σ_{min} меньше или примерно равны $\sigma_{пл} = 28,5$. Например, при $L = 48$ ошибки находятся в диапазоне $\sigma = 20,8+27,3$. При $L = 24$ ошибки резко возрастают и не подчиняются закономерности. Этот период обучения является критическим.

3. Самый узкий разброс минимальных средних квадратических ошибок получился при $L = 48$, ненамного шире разброс при $L = 36$. Исходя из требования малого объема исходных рядов, а также учитывая, что при $L = 36$ для больших значений $\tau = 10+12$ ошибки меньше, чем при $L = 48$, принимаем в качестве оптимальной длины периода обучения $L_{opt} = 36$.

4. Подтвердилась гипотеза о малом отличии коэффициентов регрессии, найденных при разных значениях L и одинаковых соотношениях N и τ . Почти совпадают между собой коэффициенты при $L = 36$ и $L = 48$, что также подтверждает целесообразность выбора $L_{opt} = 36$.

Например, для $\tau = 12$ и $N = 1$ прогнозирующие функции получились:

$$\text{при } L = 36 \quad X_t^* = 28,1 + 0,95 X_{t-12}$$

$$\text{при } L = 48 \quad X_t^* = 16,6 + 0,97 X_{t-12}$$

Анализ ошибок квартального прогнозирования по обеим моделям при значениях $L = 28+8$ позволяет сделать следующие заключения:

1. При $L = 28+12$ в случае минимума средних квадратических ошибок наблюдается два вида функциональной связи между N и τ (ограничиваясь $N_{\max} = 4$):

$$\text{при } \tau = 1+4 \quad N_{\text{опт}} + \tau_{\text{опт}} = 5 \quad (6)$$

$$\text{при } \tau = 5+8 \quad N_{\text{опт}} + \tau_{\text{пт}} = 9 \quad (7)$$

2. В качестве оптимальной длины периода обучения для обоих соотношений (6) и (7) принимаем $L_{\text{опт}} = 12$.

3. Наблюдается малое отличие коэффициентов регрессии, найденных при разных значениях L и одинаковых соотношениях N и τ .

Например, для $\tau = 4$ и $N = 1$ прогнозирующие функции получились:

$$\text{при } L = 16 \quad X_t^* = 56,7 + 0,96 X_{t-4} \quad (8)$$

$$\text{при } L = 12 \quad X_t^* = 71,6 + 0,96 X_{t-4}$$

Анализ результатов квартального прогнозирования на 1968-1970 г.г. позволил выявить закономерности для определения оптимальных прогнозирующих функций, однако, показал, что даже наименьшие значения $\sigma = 40,9+41,5$ несколько больше ошибки планирования на эти годы $\sigma_{\text{пл}} = 38$. Поэтому было проведено квартальное прогнозирование на 1971 - 1972 г.г. Временной ряд, дополненный данными за эти годы, при исследовании обнаружил те же статистические свойства, что и первоначальный ряд. Ошибка планирования на эти два года составила $\sigma_{\text{пл}} = 54,8$.

Анализ результатов квартального прогнозирования на 1971 - 1972 г.г. подтвердил еще раз сделанные ранее заключения о выборе в качестве оптимальной длины периода обучения $L_{\text{опт}} = 12$ и о наличии той же функциональной связи между N и τ . При этом диапазон ошибок при $L_{\text{опт}} = 12$ $\sigma = 39+51,4$ меньше $\sigma_{\text{пл}} = 54,8$.

Общим выводом для месячного и квартального прогнозирования является утверждение о выборе трехлетнего предшествующего периода в качестве оптимальной длины периода обучения.

Вероятностная оценка полученных прогнозов.

Полученные прогнозные значения имеют вероятностный характер, поэтому производится оценка, какой доверительный интервал

✓ 012583

с заранее заданной вероятностью покрывает каждое прогнозное значение.

Оценка доверительного интервала основана на допущении, что ряд случайных величин $\varepsilon_{t+\tau} = X_{t+\tau} - X_{t+\tau}^*$ (для $t = 1 + q$, где q - длина прогнозного периода) имеет нормальный закон распределения с параметрами $(0, \sigma_{t+\tau})$. Расчеты прогнозов на различных временных интервалах показали близость математического ожидания ошибки прогнозирования к нулевому значению. Значение $\sigma_{t+\tau}$ определяется на периоде обучения, а затем используется для построения доверительного интервала:

$$I = (X_{t,t}^* - z_p \sigma_{t,t}; X_{t,t}^* + z_p \sigma_{t,t}), \quad (9)$$

где z_p - коэффициент, соответствующий заданной доверительной вероятности $P_t = 0,95$.

Учитывая тенденции прогнозируемых параметров к ежегодному увеличению, были проведены многочисленные экспериментальные расчеты, в которых в качестве прогнозных значений использовалась верхняя граница доверительного интервала.

В результате этих расчетов оказалось, что для моделей экспоненциального сглаживания, обладающих инерционностью, указанные значения, как правило, оказываются ближе к действительным значениям, чем непосредственные прогнозы. Это позволяет рекомендовать при прогнозировании по этим моделям использование значений, находящихся в верхней половине доверительного интервала.

Исследование прогнозирования по моделям экспоненциального сглаживания.

Для прогнозирования выбраны три модели экспоненциального сглаживания (ЭС): константная, линейная и квадратичная.

По константной модели ЭС прогнозы определяются по формуле:

$$X_{t+\tau}^* = \hat{\alpha}_0 \quad (10)$$

Оценкой $\hat{\alpha}_0$ является экспоненциально сглаженная величина первого порядка $S_t^{(1)}(x)$:

$$\hat{\alpha}_0 = S_t^{(1)}(x) = \alpha X_t + (1-\alpha) S_{t-1}^{(1)}(x), \quad (11)$$

где:

X_t - действительное значение в момент времени t .

$S_{t-1}^{(1)}(x)$ - сглаженное значение в предыдущий момент времени,

L - коэффициент сглаживания ($0 < L < 1$).

Начальные условия $S_o^{(i)}(x) = X_o$.

По линейной модели ЭС прогнозы определяются по формуле:

$$X_{t+\tau}^* = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \tau \quad (I2)$$

Заменяя $\hat{a}_0$ и $\hat{a}_1$ оценками с помощью экспоненциально сглаженных величин первого и второго порядка, имеем:

$$X_{t+\tau}^* = S_t^{(1)}(x) \left(2 + \frac{L\tau}{1-L}\right) - S_t^{(2)}(x) \left(1 + \frac{L\tau}{1-L}\right) \quad (I3)$$

при начальных условиях $S_o^{(1)}(x) = S_o^{(2)}(x) = X_o$.

По квадратичной модели ЭС прогнозы определяются по формуле:

$$X_{t+\tau}^* = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \tau + \frac{1}{2} \hat{a}_2 \tau^2 \quad (I4)$$

Заменяя $\hat{a}_0$, $\hat{a}_1$ и $\hat{a}_2$ оценками с помощью экспоненциально сглаженных величин первого, второго и третьего порядков, имеем:

$$X_{t+\tau}^* = \frac{1}{2\beta^2} \left\{ S_t^{(1)}(x) [6\beta^2 + (6-5L)L\tau + L^2\tau^2] - S_t^{(2)}(x) [6\beta^2 + \right. \quad (I5) \\ \left. + 2(5-4L)L\tau + 2L^2\tau^2] + S_t^{(3)}(x) [2\beta^2 + (4-3L)L\tau + L^2\tau^2] \right\},$$

где $\beta = 1-L$, при начальных условиях

$$S_o^{(1)}(x) = S_o^{(2)}(x) = S_o^{(3)}(x) = X_o.$$

Для получения сопоставимых результатов с авторегрессионными моделями исследование моделей ЭС проводилось на тех же последовательностях - обучающей (1961 - 1970 г.г.) и проверочной (1968 - 1970 г.г.).

Исследование состоит из следующих этапов:

1. Определение оптимального периода обучения L_{opt} .

2. Определение оптимального коэффициента сглаживания

L_{opt} . Это очень важная задача для метода ЭС, которая в диссертации решается путем прогнозирования на ретроспективных данных при различных значениях L и выбора L_{opt} по критерию минимума средней квадратической ошибки. Для повышения достоверности выбор L_{opt} проводился при длине периода обучения в 3, 4 и 5 лет, т.е. для месячных данных это составляло $L = 36, 48, 60$ значений, а для квартальных -

$L = 12, 16, 20$ значений.

3. Прогнозирование при каждом значении L при изменении длины предистории N и времени упреждения τ ($N = 2+12, \tau = 1+12$ для месячных данных, $N = 2+8, \tau = 1+8$ для квартальных данных) при изменении $L = 0,05+0,5$ с шагом $\Delta L = 0,05$.

Предполагается, как и ранее, что существует функциональная связь между N и τ , т.е. имеется возможность траекторного прогнозирования.

4. Выбор одной из трех моделей ЭС в качестве основной.

Исследование моделей ЭС проведено на ЭЦВМ. На основе полученных средних квадратических ошибок выполнен анализ результатов прогнозирования и выбор оптимальных прогнозирующих моделей.

Анализ ошибок месячного прогнозирования по константной и линейной моделям ЭС (при $L = 60, 48, 36$) показал, что имеется четко выраженная функциональная связь между N и τ , такая, что выдерживается соотношение:

$$N_{opt} + \tau_{opt} = 13 \quad \text{при} \quad L_{opt} = 0,05. \quad (16)$$

Диапазоны разброса ошибок при всех L весьма близки, поэтому принимается в качестве оптимального $L_{opt} = 36$. Для квадратичной модели ЭС имеются небольшие отклонения от оптимальных соотношений, но разброс ошибок значительно увеличился.

По выбранным на периоде обучения оптимальным параметрам проведено прогнозирование на 1968-1970 г.г., которое подтвердило правильность выбора $L_{opt}, N_{opt}, \tau_{opt}, L_{opt}$. Наиболее целесообразно использовать для месячного прогнозирования константную модель ЭС (диапазон ошибок для этой модели оказался наименьшим - $\sigma = 23,5+25,1 < \sigma_{пл} = 28,5$ при $\tau = 1+11$).

Анализ ошибок квартального прогнозирования показал, что для всех моделей ЭС наблюдается функциональная связь N и τ , но в пределах $N = 2+4, \tau = 1+3$:

$$N_{opt} + \tau_{opt} = 5 \quad \text{при} \quad L_{opt} = 0,05. \quad (17)$$

Наименьший разброс ошибок при значении $L = 12$, которое и принимается в качестве оптимальной длины обучения. При проверочном прогнозировании на 1968-1970 г.г. эти выводы в ос-

новном подтвердились, однако, полученные результаты оказались хуже ожидаемых.

Прогнозирование на 1971-1972 г.г. еще раз подтвердило установленные оптимальные параметры, при этом ошибки прогнозирования ($\sigma = 52,7 \pm 61$) колеблются около ошибки планирования на этот период $\sigma_{пл} = 54,8$, причем прогнозные значения в основном меньше действительных. Однако, если в качестве уточненных прогнозов принять верхнюю границу доверительного интервала (т.е. осуществить положительную коррекцию), то ошибки, например, для константной модели ЭС существенно уменьшились и составили

$$\sigma = 45 \pm 47.$$

Адаптационный метод интегрально-экспоненциального сглаживания.

На основе выполненных в диссертации теоретических и экспериментальных исследований разработан адаптационный алгоритм, использующий квадратичную модель ЭС. Смысл этого алгоритма состоит в более гибком определении оптимальных коэффициентов сглаживания, чем в моделях ЭС.

Исходя из статистически установленной цикличности в исследуемых процессах, в диссертации выдвинута гипотеза о циклическом характере коэффициентов L , отыскиваемых путем приближения прогнозных значений на ретроспекции к действительным с заданным допуском; и гипотеза о близости найденных таким образом коэффициентов L , относящихся к одноименным периодам (месяцам, кварталам) разных лет.

Для проверки выдвинутых гипотез по трем моделям ЭС на периоде обучения решалась задача определения таких коэффициентов L , при которых разность между каждым прогнозным и действительным значением не превышала бы заранее заданного отклонения

$$\Delta \varepsilon : \quad |X_{t+T}^* - X_{t+T}| \leq \Delta \varepsilon \quad (18)$$

Эти гипотезы подтверждались при следующем условии. Для того, чтобы отыскиваемые описанным способом коэффициенты отражали характер изменения исходных рядов, проведено преобразование этих рядов для усиления связи между значениями в каждом из них. Исходные ряды преобразованы в так называемые интегральные ряды, в которых каждое значение получено путем нарастающего суммирования:

$$\bar{x}_k = \sum_{i=1}^k x_i; \quad \bar{x}_1 = x_1. \quad (19)$$

В диссертации показано, что автокорреляция при переходе от обычного ряда к интегральному усиливается.

Гипотеза о цикличности и близости одноименных коэффициентов сглаживания подтвердилась для интегральных рядов при исследовании квадратичной модели ЭС. При фиксированных значениях N и τ коэффициенты $\mathcal{L}$, относящиеся к одноименным месяцам или кварталам разных лет, весьма близки, что позволяет использовать коэффициент $\mathcal{L}$, найденный на определенный период текущего года, для прогнозирования на следующий и дальнейшие годы и ожидать высокую точность прогнозирования.

Предлагаемый метод назван интегрально-экспоненциальным сглаживанием (ИЭС). Метод ИЭС реализован на ЭЦВМ.

Анализ средних квадратических ошибок показал следующее.

При месячном прогнозировании по методу ИЭС на 1968-1970 г.г. при $\tau = 1+6$ ошибки составляют $\sigma = 18,8+27,3$ < $\sigma_{пл} = 28,5$. С увеличением τ ошибки возрастают.

При квартальном прогнозировании на 1968-1970 г.г. и на 1971-1972 г.г. ошибки прогнозирования, меньшие ошибок планирования, получаются при $\tau = 1+3$, а при увеличении τ возрастают.

И месячное, и квартальное прогнозирование по методу ИЭС свидетельствуют, что метод ИЭС дает при малых значениях τ высшую точность по сравнению со всеми другими исследованными в работе методами. Поэтому метод ИЭС следует рекомендовать для весьма краткосрочного прогнозирования с целью достижения наиболее точных прогнозов.

Учитывая, что класс процессов, имеющих повторяющиеся из года в год циклические закономерности, весьма обширен, разработан обобщенный адаптационный алгоритм прогнозирования, реализующий метод ИЭС. Этот алгоритм также реализован на ЭЦВМ.

Использование разработанных алгоритмов для задач оперативного прогнозирования в отрасли заготовок.

С целью исследования работоспособности алгоритмов, созданных в диссертации, проведено прогнозирование квартального отпуска муки в целом и муки первого сорта в УССР на период 1971-1972 г.г.

Выполненный статистический анализ указанных временных рядов позволил принять, что величины в этих рядах распределены по нормальному закону, а также выявил те же циклические закономерности, что и у ранее рассмотренных рядов.

Критерием прогнозирования отпуска сортовой муки в целом на 1971-1972 г.г. служит средняя квадратическая ошибка планирования на эти годы - $\sigma_{пл} = 46,5$.

Анализ ошибок прогнозирования по обеим авторегрессионным моделям показал, что сохраняются установленные ранее закономерности между N и τ , что оптимальным периодом обучения является трехлетний - $L_{opt} = 12$. Полученные по обеим моделям ошибки при $\tau = 4$ ($\sigma = 40,3+42,4$) и при $\tau = 8$ ($\sigma = 32,4+32$) меньше $\sigma_{пл} = 46,5$, что позволяет сделать рекомендации о применении этих моделей при прогнозировании на 4 или 8 кварталов вперед.

По трем моделям ЭС возможно прогнозировать на три квартала вперед с точностью, не худшей точности планирования ($\sigma = 43,8 < \sigma_{пл} = 46,5$), если осуществлять положительную коррекцию прогнозов.

Метод ИЭС дает наивысшую точность среди всех методов при $\tau = 1$ ($\sigma = 27,8$) и приемлемую точность при $\tau = 2$ ($\sigma = 45,8$), что подтверждает целесообразность прогнозирования по этому методу на ближайшие периоды.

Критерием прогнозирования отпуска муки первого сорта на 1971-1972 г.г. служит средняя квадратическая ошибка планирования на эти годы - $\sigma_{пл} = 15,5$.

Анализ ошибок прогнозирования по обеим авторегрессионным моделям показал, что по ним можно осуществлять прогнозирование с учетом установленных ранее закономерностей на 4, 6 и 7 кварталов вперед с точностью, превышающей точность планирования ($\sigma = 11,2+12,7 < \sigma_{пл} = 15,5$). Причем более целесообразно прогнозирование на 6 и 7 кварталов, т.к. оно требует меньшего периода обучения $L_{opt} = 12$.

Анализ прогнозирования отпуска муки первого сорта по трем моделям ЭС позволяет сделать вывод, как и для других процессов, о целесообразности использования этих моделей для прогнозирования до трех кварталов вперед при условии осуществления положительной коррекции.

Метод ИЭС дал наивысшую точность среди всех исследованных методов при $T = 1$ ($\bar{C} = 8,1$), однако, для муки первого сорта прогнозы высокой точности получились также при $T = 5+8$ ($\bar{C} = 7,1+12,7$), что говорит о возможности применения метода ИЭС в качестве верификационного при прогнозировании до 8 кварталов вперед.

Оценка объема необходимой информации и затрат времени на прогнозирование.

Для использования той или иной из разработанных моделей прогнозирования в конкретных условиях важными характеристиками являются необходимый для обучения и прогнозирования объем информации, а также время, затрачиваемое на определение оптимальных параметров прогнозирующей модели при различных значениях длины периода обучения, длины предстории и времени упреждения.

Проведенный анализ всех разработанных и реализованных на ЭЦВМ алгоритмов позволяет сделать следующие выводы.

1. Минимальный объем исходной информации при обучении необходим для метода ИЭС – достаточно иметь данные за два предыдущих года. Для методов ЭС и авторегрессионного требуются данные за пять – шесть лет.

2. При прогнозировании по любому из методов длина предстории не превышает одного года, кроме того, для ЭС необходимо хранить в течение года один коэффициент сглаживания, для ИЭС – от 4 до 12 коэффициентов сглаживания, для авторегрессионного метода – от 1 до 12 коэффициентов модели.

3. Измеренные затраты времени на обучение каждой из моделей позволяют оценить необходимое в совокупности время настройки моделей, выбранных для прогнозирования исследуемых процессов.

Наименьшие затраты времени при обучении по авторегрессионным моделям. Большие затраты времени при обучении по моделям ЭС легко сократить, сузив диапазон поиска оптимального коэффициента сглаживания, исходя из особенностей прогнозируемого процесса. Затраты времени на обучение по модели ИЭС можно сократить за счет проведения процесса обучения на периоде не более одного года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования объекта, разработка и проверка методов оперативного прогнозирования потребности в продукции отрасли заготовок позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Анализ функционирования отрасли заготовок показал объективную необходимость краткосрочного прогнозирования в отрасли, в частности, прогнозирования потребности в муке для повышения качества решения основных задач планирования и оперативного управления. При этом определилась требуемая глубина прогнозирования, его точность и периодичность.

2. Применение в отрасли заготовок прогнозирования потребности в муке в ассортименте на один-два года вперед (по кварталам и по месяцам) позволяет повысить качество управления сырьевыми запасами зерна, улучшить разработку планов производства и распределения муки, снизить весьма значительное в существующих условиях число корректировок плана отпуска хлебопродуктов и уменьшить нерациональные перевозки.

3. Анализ методов прогнозирования, выявление требований к информационным массивам, отображающим прогнозируемые процессы, определение свойств и особенностей этих процессов привели к выбору для дальнейших исследований авторегрессионного метода и метода экспоненциального сглаживания. Для оценки точности прогнозирования выбран критерий минимума средней квадратической ошибки.

4. Исследование выбранных методов, введение ряда гипотез, основанных на свойствах прогнозируемых процессов, привели к разработке методики траекторного прогнозирования, позволяющей достигать высокой точности результатов при значительном времени упреждения.

5. На основе аналитических и экспериментальных исследований разработан адаптационный алгоритм прогнозирования, названный методом интегрально-экспоненциального сглаживания. Этот метод позволяет получать наивысшую точность среди всех исследованных методов, обладает гибкостью при определении

оптимальных значений коэффициентов сглаживания и длины предистории.

6. Исследование всех разработанных в диссертации алгоритмов на основе реальных процессов отрасли заготовок позволяет рекомендовать использование авторегрессионных моделей, константной модели экспоненциального сглаживания и интегрально-экспоненциального сглаживания в качестве основных моделей, а остальных — в качестве верификационных.

М е т о д	Время упреждения	Ожидаемые ошибки	Снижение ошибок
Авторегрессионный	4-8 кварталов 1-12 месяцев	1,8 + 2,8% 4 + 5%	13 + 30% 4 + 27%
Экспоненциальное сглаживание (кон- стантная модель)	1-12 месяцев	4,4 + 4,7%	12 + 18%
Экспоненциальное сглаживание (кон- стантная модель с коррекцией)	1-3 квартала	2,2 + 2,9%	6 + 21%
Интегрально-экспоненциальное сглаживание	1-3 квартала	1,5 + 2,8%	2 + 48%
	1-3 месяца	3,5 + 3,8%	29 + 34%

В таблице указаны основные рекомендуемые методы, целесообразное время упреждения для каждого из них, ожидаемые ошибки прогнозирования и снижение их величины относительно ошибок планирования.

Основное содержание диссертации опубликовано в соавторстве в следующих работах:

1. Прогнозирование динамических рядов методом интегрально-экспоненциального сглаживания. — Тезисы докладов второй научно-технической конференции по вопросам применения экономико-математических методов и вычислительной техники в управлении народным хозяйством. Одесса, 1972.

2. Траекторное прогнозирование экономических процессов.

Там же. Одесса, 1972.

3. Повышение точности прогноза спроса методом интегрально-экспоненциального сглаживания.- "Применение математических методов, вычислительной техники и оргтехники в материально-техническом снабжении". М., ЦНИИТЭИМС, 1972, № 7.

4. Применение константной модели для краткосрочного прогнозирования в ОАСУ - Минзаг.- "Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность". М., 1973, № 2.

5. Прогнозирование основных показателей для ОАСУ Министерства заготовок СССР.- "Механизация и автоматизация управления". Киев, 1973, № 2.

6. Применение траекторного прогнозирования периодических процессов.- Материалы Всесоюзной научной конференции "Проблемы статистического измерения, моделирования и прогнозирования научно-технического прогресса". М., 1974.

Результаты работы доложены на:

- научно-технических конференциях Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова в 1971 - 1974 г.г.;
- второй научно-технической конференции по вопросам применения экономико-математических методов и вычислительной техники в управлении народным хозяйством (Одесса, 1972 г.);
- семинаре научного совета по проблеме "Кибернетика" АН СССР (Одесса, 1973 г.);
- семинаре по проблемам управления Одесского института инженеров морского флота в 1973 г.;
- научной конференции Одесского сельскохозяйственного института в 1974 г.;
- Всесоюзной научной конференции "Проблемы статистического измерения, моделирования и прогнозирования научно-технического прогресса" (Москва, 1974 г.).