Автореф.
Б 30

На правах рукописи

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

Одесский технологический институт пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова

БАХВАЛОВ
Алексей Андреевич

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЗЕРНОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ РАБОТЫ

Специальность 05. 13. 06—автоматизированные системы переработки информации и управления (в пищевой промышленности)

Диссертация написана на русском языке

АВТОРЕФЕРАТ
Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва—1975

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

БАХВАЛОВ Алексей Андреевич

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЗЕРНОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ РАБОТЫ

Специальность 05.13.06

Автоматизированные системы переработки информации и управления (в пищевой промышленности)

Получен 19 г.

Диссертация написана на русском языке

V 012592

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва - 1975.

Работа выполнена в Московском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте пищевой промышленности.

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ:

доктор технических наук, профессор П.П.МЕСЯЦЕВ,
кандидат технических наук, профессор О.Д.ШУМСКИЙ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук,профессор П.Н.ПЛАТОНОВ,
кандидат технических наук, доцент В.Б.ФАСМАН

Ведущее предприятие - ГОСНИИСРЕДАЗПромзернопроект

Автореферат разослан "15" сентября 1975 г.

Защита диссертации состоится "17" октября 1975 г. на заседании Совета факультета автоматизации и приборостроения ОТИПП им. М.В. ЛОМОНОСОВА, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять в Совет института по адресу: Одесса - 39, ул. Свердлова, дом 112, Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М.В. ЛОМОНОСОВА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОТИПП им. М.В. ЛОМОНОСОВА.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА,

к.т.н., доцент Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ

Быстрый рост производства зерновых культур в СССР требует выполнения комплекса мероприятий по созданию материально-технической базы, обеспечивающей полную сохранность зерна.

В соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР "Об ускорении развития технической базы хлебоприемных предприятий" в 1976-1980 годах предусматривается ввод в действие зернохранилищ на предприятиях элеваторно-складского хозяйства общей емкостью 40 млн. тонн, в том числе 34 млн. тонн элеваторов. Для выполнения этой задачи Министерству заготовок СССР на 10 пятилетку установлен объем государственных капитальных вложений в сумме 3,5 млрд. рублей и предложено обеспечить разработку техно-рабочих проектов наиболее экономичных элеваторов, оснащенных автоматизированным управлением, мощными средствами технологической обработки зерна, высокопроизводительными приемными и отпускными устройствами.

Для повышения эффективности выделенных ассигнований необходимо наряду с традиционными, оправдавшими себя методами, шире внедрять в практику проектирования результаты исследований, проводимых на базе электронной вычислительной техники.

В данной работе рассматривается одна из задач алгоритмизации информационно-вычислительной подсистемы АСУ элеватором, решение которой позволит оценить совершенство структуры технологических схем зерновых элеваторов и методов ведения технологического процесса.

Актуальность проблемы. В настоящее время создано и эксплуатируется большое число элеваторов, различающихся строением схем движения зерна. Это вызвано не только желанием учесть при проектировании производственное назначение, мощность и местные условия работы элеваторов, но и отсутствием в отрасли нетрудоемких методов расчета, позволяющих получать оптимальные решения. Анализ существующих технологических схем элеваторов показал, что основным их недостатком является несоответствие максимальных проектных и фактически выполняемых объемов суточной работы. Несовершенство методики проектирования проявляется в неверном учете вероятностного характера потоков зерна, поступающих на предприятие, что в ряде случаев приводит к значительному недоиспользованию мощностей оборудования отдельных участков, либо к их недостаточной пропускной способности.

Следовательно, разработка более совершенной методики расчета и выбора технологических схем элеваторов является актуальной проблемой, решение которой может быть достигнуто только при использо-

вании метода математического моделирования на ЭВМ и позволит:

- обоснованно, с большей достоверностью вести проектирование поточно-транспортной сети предприятия;
- выявить недостатки существующих проектов;
- улучшить методику управления технологическим процессом.

Всё это обеспечит повышение эффективности использования оборудования и успешное проведение предпроектного этапа создания АСУ элеватором.

Целью диссертационной работы является разработка основных принципов моделирования технологического процесса элеватора, как поточно-транспортной системы, и их практическая реализация в виде алгоритмов и программ, применимых для решения задач проектирования предприятий отрасли и подготовки производства к внедрению АСУ.

Научная новизна. Поставлена задача создания математической модели технологического процесса элеватора. Объект исследования классифицирован как многоканальная замкнутая система массового обслуживания (СМО) без потерь. Алгоритмизация технологического процесса осуществлена с помощью:

- имитационного моделирования, позволяющего учитывать ряд конкретных характеристик схемы движения зерна;
- разработки неполнодоступной аналитической модели с различными приоритетами источников заявок.

С помощью исследований, проведенных на ЭВМ, для ряда элеваторов получены зависимости, связывающие показатели качества их работы с характеристиками и параметрами технологического процесса. Определены возможности и области использования обеих моделей.

Апробация работы. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований были доложены и обсуждены на:

I. Научных конференциях преподавателей и сотрудников Московского ордена Трудового Красного Знамени технологического института пищевой промышленности, Москва, 1973, 1974, 1975 гг.

2. Секции "Оптимизация задач управления в АСУ" Всесоюзного научно-технического симпозиума "Алгоритмическое обеспечение систем управления производственными процессами", Алма-Ата, 1974, октябрь.

3. Научно-техническом Совете института ГОСНИИСРЕДАЗПромзернопроект, Алма-Ата, 1974, октябрь.

4. Секции "Автоматизированные системы управления технологическими процессами" Ш Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Достижения и перспективы развития технической кибернети-

ки", Киев, 1975, май.

Публикация. По результатам выполненной работы имеется 7 публикаций.

Объем работы. Диссертационная работа содержит III страниц машинописного текста, 8 таблиц, 41 рисунок и состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы из 92 наименований и приложений на 42 страницах.

Изложение в диссертации построено в плане последовательного решения задачи разработки математических моделей технологического процесса элеватора:

- составление формализованного описания технологического процесса на элеваторе и проведение на его основе математической постановки задачи создания обобщенной модели технологического процесса элеватора;
- разработка имитационной модели работы технологической схемы, учитывающей влияние на качество её функционирования параметров схемы движения зерна и характеристик технологического процесса;
- разработка аналитической модели технологического процесса элеватора, позволяющей отразить основные особенности исследуемого объекта;
- апробация разработанных моделей на исследовании технологических процессов реальных элеваторов.

Особенности технологического процесса элеватора как объекта моделирования

Современный элеватор, как объект исследования, представляет собой сложную поточно-транспортную систему с вероятностными входами и выходами, характеризующуюся многомерностью и неоднозначным статистическим взаимодействием между параметрами. При исследовании работы технологической схемы необходимо учитывать наличие в системе большого числа взаимосвязанных элементов, обеспечивающих выполнение сложных функций по приёму, послеуборочной обработке, хранению и отпуску зерна.

Последовательность операций, которую проходит зерно, поступающее на элеватор, определяется с учетом его исходного качества и состояния, целевого назначения, климатических особенностей района расположения конкретного элеватора. Важную роль в технологическом процессе играют операции приема, обработки, закладки на хранение и

отпуска зерна, связанные с использованием ресурсов основного транспортирующего оборудования элеватора. Операции внешней работы (прием, отпуск) имеют приоритет перед операциями внутренней работы (обеспечение технологической обработки зерна, его перемещение и пр.). В практике работы элеваторов целесообразно осуществлять совмещение операций – подачу зерна на технологическую обработку (очистку, сушку) непосредственно от приемных устройств.

В работах ряда авторов показано, что моменты времени, определяющие потребность начала той или иной операции, случайны и, в общем случае, описываются законом Эрланга К-го порядка.

На основе анализа функций, выполняемых различными типами элеваторов, в диссертации разработана обобщенная принципиальная технологическая схема, которой предусмотрено выполнение всех видов технологических и транспортных операций с зерном, что позволяет любую конкретную схему технологического процесса элеватора представить как часть обобщенной схемы.

Характер технологической обработки зерна зависит от его качества, под которым понимаются засоренность (ZS), влажность (W) и совокупность признаков, которая не может быть изменена технологическими средствами, которыми располагает элеватор.

В этом случае показатель качества с учетом неизменных признаков, характеризующих условный номер партии зерна (NPZ), может быть представлен в виде вектора

$$KACH = (NPZ, ZS, W) \qquad (I)$$

Количество циклов очистки и сушки зерна и производительность технологического оборудования определяются показателем качества и целевым назначением данной партии зерна (продовольственное, семенное, фуражное и т.д.).

Все операции внутренней работы элеватора осуществляются маршрутами – цепочками транспортирующих машин, включающими основную норию элеватора и доставляющими зерно к месту технологической обработки, хранения или отпуска. Маршруты начинаются с источников заявок, под которыми понимаются нижние оперативные ёмкости технологических машин и приемных устройств элеватора. К источникам заявок относятся также подсилосные транспортеры.

Конечными точками маршрутов являются отпускные емкости (линии), верхние бункеры технологических машин и надсилосные транспортеры.

В общем случае маршрут представляется вектором вида:

$$M = (m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_{K-1}, m_K), \qquad (2)$$

где m_i – $(i-1)$ – я по порядку транспортирующая машина в маршруте $(i = 2, 3, \ldots, K-1)$, а m_K – конечная точка.

Всё множество маршрутов элеватора (D) включает в себя три подмножества, обеспечивающих проведение совмещения операций (DS_i), доставку зерна в силосный корпус (DX_i) и отпуск его из силосного корпуса (DX_K).

Размещение зерна в силосах элеватора должно обеспечивать максимальное заполнение силосного корпуса при отсутствии потери качества зерна из-за смешивания различных партий (ухудшения свойств совокупности признаков, которые не могут быть изменены технологически).

В формализованном виде количественно-качественная характеристика каждого силоса с номером NS может быть определена как вектор

$$SIL = (NS, OSE, NPZ, ZS_i, \Delta ZS_i, W_j, \Delta W_j), \qquad (3)$$

где OSE – остаток свободной ёмкости;

ZS_i и W_j – верхние границы засоренности и влажности зерна, хранящегося в силосе NS, а ΔZS_i и ΔW_j – диапазоны изменения этих показателей.

При формировании исходных данных учтены основные временные задержки, имеющие место при нормальном ходе технологического процесса и определяющиеся транспортным запаздыванием, свойствами зерна, как сыпучего материала, и необходимостью подготовки маршрута. Последний вид задержек зависит от совершенства системы управления на элеваторе, главной задачей которой является достижение максимального использования паспортной производительности всего транспортирующего и технологического оборудования.

Анализ функционирования технологических схем зерновых элеваторов показал, что характер технологического процесса на них является непрерывно-дискретным и определяется следующими признаками:

– производственный процесс представляет собой ряд операций по перемещению зерна случайной продолжительности;

– подача зерна к месту технологической обработки, хранения или отпуска производится отдельными порциями;

– процесс перемещения каждой порции носит непрерывный характер и состоит из ряда этапов, для осуществления которых требуется различное транспортирующее оборудование.

Обобщенная математическая постановка задачи разработки модели технологического процесса элеватора

Операциям внешней и внутренней работы элеватора в большинстве случаев присущи элементы нерегулярности, а их выполнение можно считать процессом обслуживания, характеризующимся массовым появлением запросов на перемещение порций зерна и массовым их удовлетворением.

Поэтому для формализованного представления процесса функционирования технологической схемы элеватора предлагается обобщенная схема неполнодоступной, многоканальной, многофазной, замкнутой СМО с неограниченным временем ожидания и приоритетом в обслуживании. Заявкой назовем требование на перемещение маршрутом фиксированной минимальной порции зерна. Запросом на обслуживание является требование на обслуживание группы заявок, которое задается вектором

$$Z = (Z_1, Z_2, \ldots, Z_j, \ldots, Z_q), \qquad (4)$$

где компоненты $Z_1 \div Z_j$ численно представляют набор характеристик, связанных с обслуживанием данного запроса, а компоненты $Z_{j+1} \div Z_q$ характеризуют вид и последовательность операций технологической обработки зерна.

Объект управления характеризуется рядом параметров, определяющих конструктивные особенности данного варианта технологической схемы (VTS), а его функционирование и состояние в любой момент времени t определяет вектор

$$SOU = (B, XO, HZ, UV) \qquad (5)$$

где B – множество характеристик состояния объекта управления на начало периода моделирования ($t = 0$);

XO – множество временных и количественных характеристик процесса обслуживания для данного VTS;

HZ – множество временных, количественных и качественных характеристик потоков поступающего, хранящегося и перерабатываемого на элеваторе зерна;

UV – множество управляющих воздействий, наложенных на связи схемы движения зерна и вырабатываемых управляющей системой.

На элементы множеств B, XO, HZ накладываются ограничения, соответствующие начальным условиям и исходным данным.

При построении модели исследуемого процесса принят ряд допущений, в соответствии с которыми не учитываются отклонения от нор-

мального хода технологического процесса, вызванные отказами механического оборудования, нерегулярностью выходов на работу сотрудников элеватора, погодными условиями в период проведения заготовительной кампании и пр. В общем случае каждый фактор из этой совокупности отрицательно влияет на коэффициенты использования оборудования элеватора.

В содержательном виде цель функционирования технологической схемы элеватора формулируется следующим образом: при наличии имеющихся ресурсов норие-часов за данный промежуток времени (Т общ) провести максимальный объем работ по приему, улучшению показателей качества и отпуску зерна при условии эффективного использования силосной емкости (достижения максимального значения суммарного коэффициента заполнения силосного корпуса).

Этой цели соответствует следующий критерий эффективности использования основного транспортирующего оборудования:

$$Kг = max\left(\sum_i E_i / (n \times q_н \times T_{общ})\right), \qquad (6)$$

где $\sum_i E_i$ – сумма масс зерна в порциях (E_i), перемещенных за время Тобщ n основными норіями производительностью $q_н$ в результате обслуживания каждого i-го источника заявок или конечной точки.

Целью исследования технологического процесса является определение такой структуры схемы движения зерна и методики управления объектом, при которых достигалось бы наиболее эффективное использование оборудования, обеспечивающее минимальные потери, связанные с ухудшением качества зерна и простоями транспортных средств. Решение такой задачи методом перебора, из-за её большой размерности, потребует огромных затрат машинного времени. Поэтому предлагается сократить число анализируемых вариантов за счет разбиения задачи на две подзадачи меньшей размерности и решения их на двух уровнях:

1) выбор варианта технологической схемы при существующих методах управления;

2) выбор улучшенной методики управления при определенном VTS.

Основные принципы построения моделирующего алгоритма

При моделировании сложных систем, ввиду трудностей практической реализации, предпочтение отдается локализованной (блочной) структуре. При этом локализация проводится по принципу функциональной законченности отдельных частей программы, которые назовем блоками.

Блок представим в унифицированном виде, как совокупность трех локальных операторов: входа (L_α), обработки (L_t) и выхода (L_γ). Если обозначить совокупность внешних, по отношению к блоку, параметров через W, то блок может быть определен как кортеж (вектор)

$$B = (L_\alpha, L_t, L_\gamma, W, \alpha, \tau, \gamma), \qquad (7)$$

где α, τ и γ – выходные сигналы операторов L_α, L_t и L_γ соответственно.

Представление процесса обслуживания порции зерна, как последовательности фиксированных заявок определенной величины, дало возможность избавиться от параметрической зависимости, присущей непрерывному процессу обработки, и ввести блочную структуру. Блочную структуру будем считать заданной, если имеются определенные совокупности блоков – BL и связей между ними – R. В общем случае на каждую из связей $r_{ij} = (B_i, B_j)$ может быть наложено условие $U_{ij} \in UV$.

Тогда блочная система запишется как тройка

$$BS = (BL, R, UV) \qquad (8)$$

Условие перехода заявки в системе из блока B_i в блок B_j будет следующим:

$$C_{ij} = \gamma_i \wedge \alpha_j \wedge U_{ij} = 1 \qquad (9)$$

где $C_{ij}, \gamma_i, \alpha_j$ и U_{ij} принимают значения 0 или I. Все события в блочной системе происходят в течение модельного времени T. Если Z – множество событий системы за время T, то каждому $z \in Z$ соответствует $\tau \in T$. Если ввести на множестве Z систему классов эквивалентности $Z' = \{K_1, K_2, \dots\}$, под которыми понимаются множества одновременных событий, и положить, что класс эквивалентности содержит не более одного рода событий, то изоморфизм Z' и T позволит разбить T на ряд соответствующих классов T_i, представляющих совокупности моментов времени активизации блоков B_i.

В произвольный момент $t <$ T очередное значение модельного времени ($t_{оч}$) определится как

$$t_{оч} = \min\{t_i\}, \qquad (10)$$

где

$$t_i = \min\{\tau \in T_i / \tau \geqslant t\} \qquad (11)$$

Таким образом, для нахождения $t_{оч}$ достаточно знание величин t_i, представляющих собой ближайшие моменты времени очередной активиза-

ции блоков b_i. Учитывая, что задание t_i производится самим блоком с помощью оператора L_t, можно считать доказанной достаточность параметра τ для организации последовательного во времени процесса функционирования блочной системы.

Для рассматриваемой системы характерно наличие последовательно связанных цепочек блоков, представляющих собой маршруты движения зерна.

Если считать, что маршрут содержит не более n машин из общего их числа М, то M^n – множество всех возможных маршрутов. Если маршрут $X \in M^n$, то $X = (m_1, m_2, \ldots, m_\ell, \ldots, m_n)$.

Пусть задано отображение Г: $S \to M^n$, где S – множество заявок s. Множество $MR = \Gamma(S) \subseteq M^n$ представляет собой совокупность разрешенных маршрутов, в которых элемент m_ℓ $(\ell \leq n)$ – последнее непустое значение составляющих кортежа X ($X \in MR$). Различие векторов M и X состоит в том, что число компонент в последнем постоянно. Знание отображения Г позволяет для заданной s определить X_s. Используя строгую упорядоченность кортежа X_s, можно найти номер нужной машины, указывая лишь координату j $(j = 1, 2, \ldots, n)$.

Реализация отображения Г может быть осуществлена с помощью матрицы $\| A_{ij} \|$, элементами которой являются номера машин, входящих в маршрут. В этом случае сама заявка несет в себе параметры её обработки ($P_1 \div P_k$), номер маршрута сообщения (N) и координату j:

$$S = (P_1, P_2, \ldots, P_k, N, j) \qquad (12)$$

Назначение тех или иных маршрутов связано с изменением отображения Г.

Весь процесс моделирования логически распадается на два взаимосвязанных уровня – материальных потоков и принятия решения. В соответствии с этим, математическая модель технологического процесса (рис.1) состоит из двух частей:

– модели движения материальных потоков ("схемы движения зерна") – SDZ;

– модели управления ("операционной системы") – OS.

вырабатывает два вида воздействий, возбуждающих различные реакции OS:

– запросы на обслуживание $Z_1 \div Z_{i+k}$;

– сигналы об освобождении маршрутов $MO_1 \div MO_m$.

После возникновения очередного запроса он попадает в приемный регистр ($RP1$) OS, которая, оценивая результаты изменения ситуации,

производит операцию подбора одного из возможных маршрутов X. В случае назначения маршрута, OS изменяет ряд условий ($U_1 \div U_\ell$), накладываемых на связи SDZ . Если маршрут для обслуживания не выбран, то запрос направляется в буфер очереди (BO), который просматривается OS при поступлении на второй регистр приема ($RP2$) сигналов $MO_1 \div MO_m$.

Структурная схема модели технологического процесса элеватора

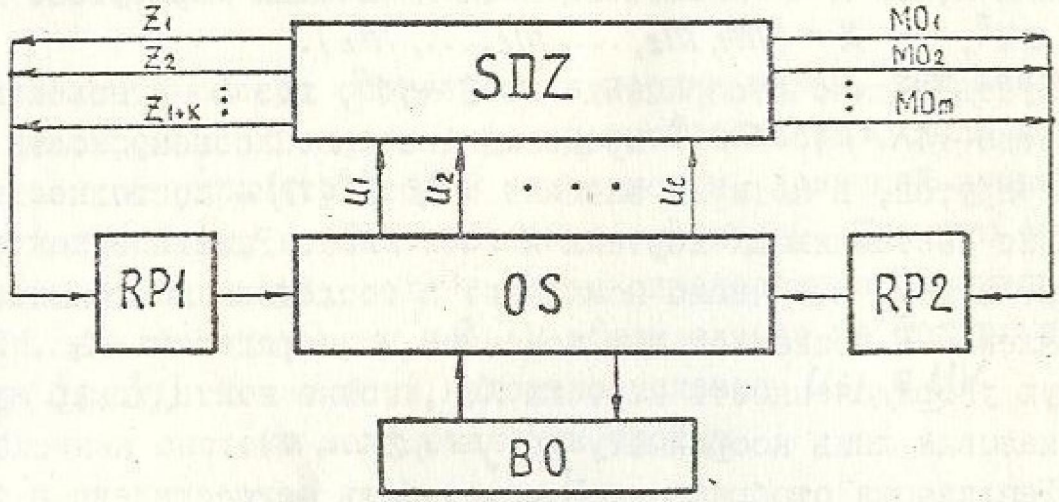

Рис.I

Просмотр запросов буфера очереди производится в соответствии с приоритетом и временем возникновения. OS предусматривает выбор маршрута с учетом трех ранжированных уровней, обеспечивающих:

- совмещение операций (из множества DS_i);
- связь источника заявок (конечной точки) с силосным корпусом (из множеств DX_i или DX_K);
- прерывание обслуживания низкоприоритетного источника заявок или конечной точки (из множеств DX_i или DX_K).

Разработанные принципы построения алгоритма технологического процесса элеватора положены в основу создания имитационной модели.

Имитационная модель технологического процесса элеватора

Обобщенная математическая модель объекта учитывает большое количество факторов и является сложной для практической реализации. В связи с этим, при построении имитационной модели введены следующие основные допущения:

I) назначение маршрутов для обслуживания заявок сведено к выбору основных норий;

2) всё зерно, принимаемое элеватором, направляется в силосный

корпус;

3) показатели качества зерна, перемещаемого на элеваторе, приняты одинаковыми, а их влияние на производительность транспортирующего оборудования учитывается косвенно - через коэффициенты использования по операциям.

Первое и третье допущения при моделировании приведут к некоторому увеличению суточной работы элеватора, в второе - к её снижению, так как результаты функционирования технологической схемы без учета совмещения операций отражают нижнюю границу её пропускной способности. Проведенные тестовые просчеты показали, что данные упрощения не вносят больших искажений в результаты моделирования, но приводят к изменению понятия источник заявок: источниками заявок будем называть приемные и отпускные емкости (лишки) элеватора и оперативные бункеры технологических машин, требующие для обеспечения своей нормальной работы перемещения (подачи или отбора) зерна основной норией элеватора.

Под классами эквивалентных событий будем понимать следующие множества моментов:

- возникновения требований на обслуживание, поданных каким-либо источником заявок за время моделирования;
- освобождения норий после обслуживания заявок;
- остановок технологических машин из-за несвоевременного обслуживания соответствующих источников заявок.

Общее число классов эквивалентности равно сумме чисел внешних (mvz) и внутренних (mbz) источников заявок, основных норий элеватора (no) и возможных "виновников" остановки технологических машин (mbz):

$$K_{\Sigma} = mvz + 2\,mbz + no \qquad (13)$$

В основу принципа моделирования положен асинхронный метод, основанный на том, что совокупность ближайших моментов возникновения событий $\{t_i\}$ в каждом i-м классе формируется как последовательность изменений состояний устройств технологической схемы элеватора, определяющих классы эквивалентности.

При этом в дискретные моменты времени t_i анализируется состояние производственного процесса и фиксируются его изменения только на том участке, на котором они произошли.

Применение асинхронного принципа дает возможность приблизить понятие заявки к понятию запроса: под заявкой будем понимать порцию зерна известного объема, которую необходимо переместить с по-

мощью основной нории для полного обслуживания источника.

Процесс обслуживания заявок различных приоритетов приближенно описывается линейными дифференциальными уравнениями I-го порядка.

Приведенная на рисунке 2, структурная схема представляет конкретизированный случай обобщенной схемы модели процесса (см. рис.I). Поэтому при её описании ограничимся перечислением функций отдельных блоков. Блоки $i_1 \div i_{mvz}$ моделируют работу внешних источников заявок, а блоки $i_{mvz+1} \div i_{mvz+mbz}$ – внутренних. Работа основных норий имитируется с помощью блоков $OA_1 \div OA_{no}$.

Блок очереди (BO) служит для накопления заявок, ожидающих обслуживания при отсутствии свободных норий. Блок доступности (BD) отражает конструктивные особенности схемы движения зерна. Блок приема заявок (BPZ) принимает заявки, выработанные блоками $i_1 \div i_{mvz+mbz}$, и хранит до тех пор, пока момент возникновения каждой из них не станет наименьшим среди моментов t_i всех классов эквивалентных событий.

Блок управления (BU) вырабатывает управляющие воздействия в соответствии с изменениями состояний элементов модели. Информационно BU связан со всеми остальными блоками.

Структурная схема имитационной модели технологического процесса элеватора

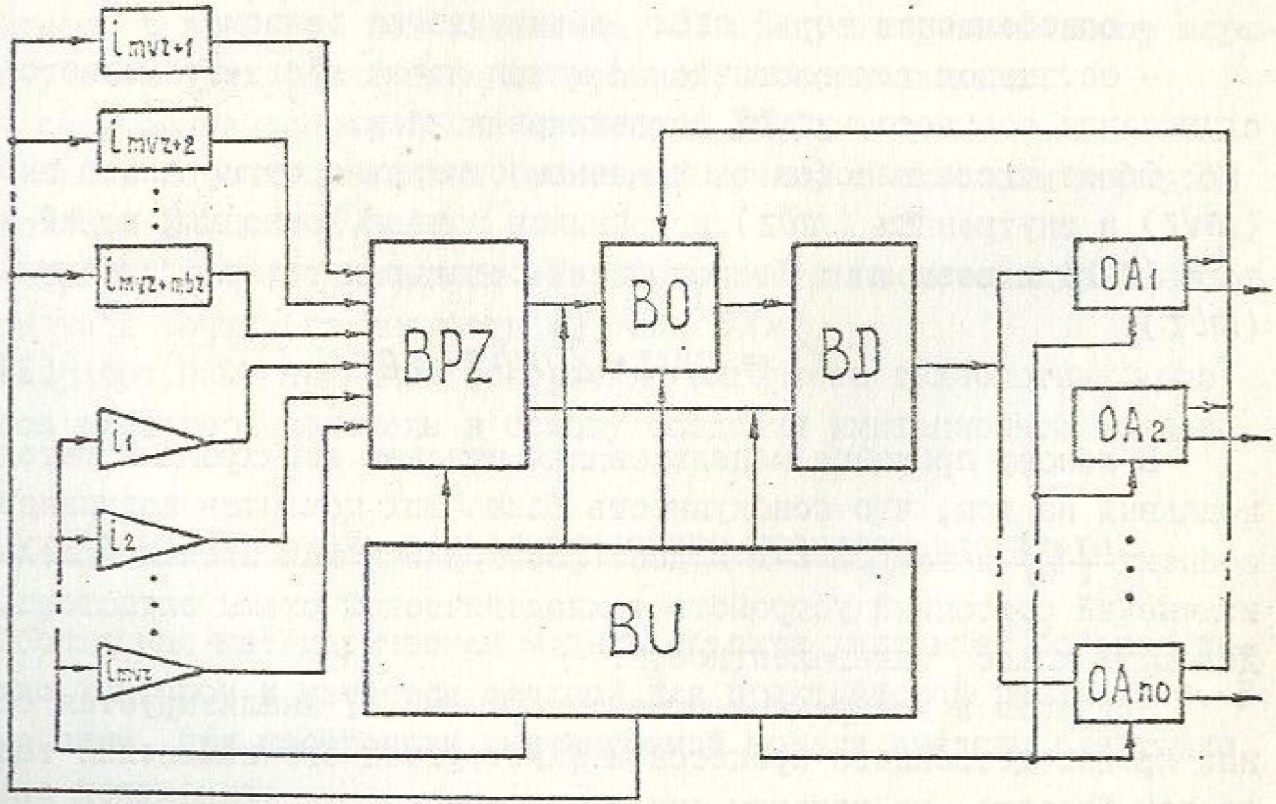

Рис.2

Значительный объем различных вычислительных операций и исходных данных определили некоторые особенности построения моделирующего алгоритма. Вся информация о состоянии источников заявок, норий и технологических машин размещена в массивах, представляющих собой матрицы различной размерности.

Выделены следующие группы массивов:

- определяющие производственную ситуацию;
- служебные;
- исходных данных;
- статистические.

Для сокращения объема программы при анализе исходного алгоритма отдельные его части были выделены в виде процедур, образовавших группы:

- изменения ситуации;
- принятия решения;
- формирования заявок внешних источников;
- служебные;
- вспомогательные.

Отдельные процедуры из вышеперечисленных групп связаны между собой с помощью операторов и блоков и образуют алгоритм, моделирующий работу элеватора. Из-за недостатка объема оперативной памяти для размещения программы, информационных массивов и исходных данных была произведена сегментация программы - запись части процедур во внешнюю память ЭВМ.

Разработанная программа является универсальной с точки зрения возможностей моделирования технологического процесса различных типов элеваторов. При анализе характеристик и параметров объекта исследования часть из них выделена в качестве следующих исходных данных:

- характеристик состояния объекта на начало моделирования;
- основных параметров схемы движения зерна;
- характерных объемов заявок приемных и отпускных устройств и соответствующих им вероятностей поступления;
- средних сменных интенсивностей поступления заявок от источников внешней работы;
- коэффициентов использования норий на различных операциях;
- таблицы ходов норий (матрицы доступности).

Из представленного перечня исходной информации видно, что разработанная программа модели технологического процесса элеватора учитывает влияние многих факторов на качество функционирования сис-

темы. Это создает предпосылки для выбора на первом уровне близкого к оптимальному варианта технологической схемы элеватора.

Аналитическая модель технологического процесса элеватора

Основным преимуществом аналитических моделей является их относительная простота и возможность получения результатов счета при меньших затратах времени по сравнению с имитационным моделированием. Поэтому в диссертации разработана аналитическая модель, структурная схема которой (рис. 3), в отличие от описанных в литературе, состоит из двух замкнутых контуров различного приоритета, включающих Π I и Π 2 источников заявок.

Структурная схема аналитической модели технологического процесса элеватора

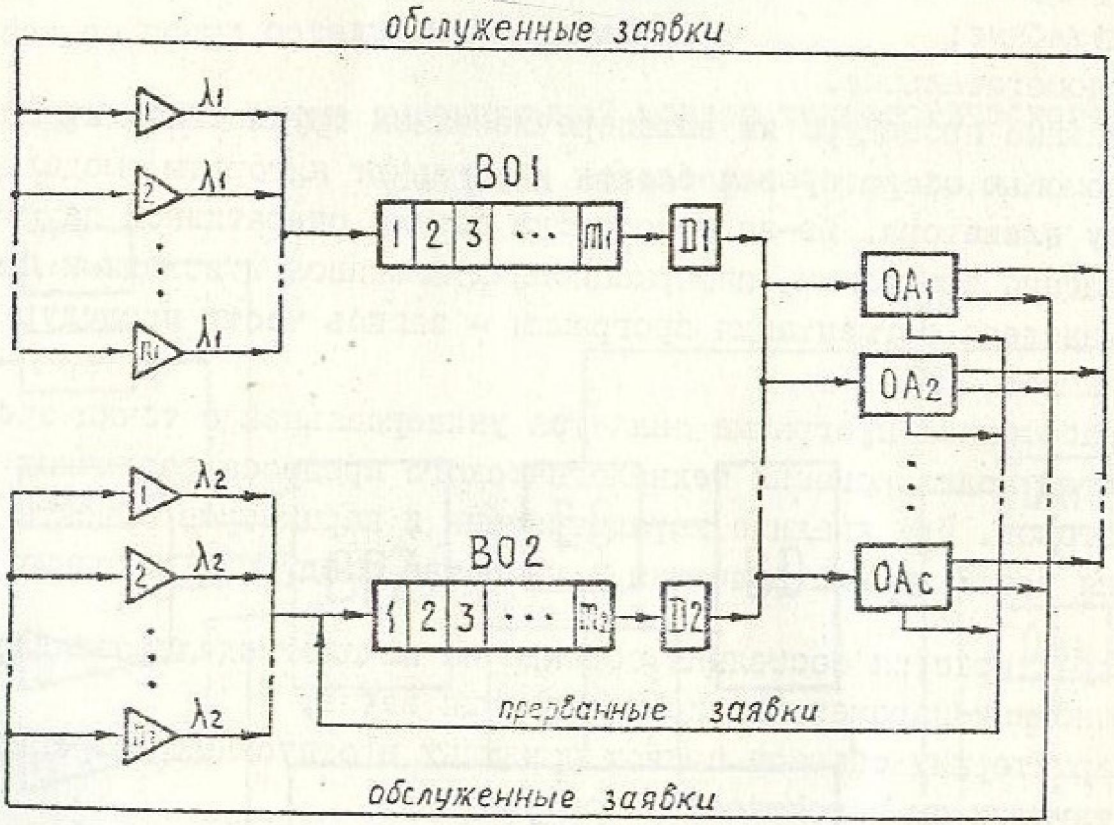

Рис.3

Действие приоритетов полагается абсолютным. В общем случае обслуживающие аппараты (ОА) неполнодоступны источникам требований. Если С – число обслуживающих аппаратов, то средняя доступность по источникам I-го вида (высокого приоритета) равна КI (КI$\leqslant$С), а по источникам 2-го вида – К2 (К2$\leqslant$С). Потоки заявок от каждого источника

в группе одинаковы и подчиняются закону Пуассона с параметрами $\lambda 1$ и $\lambda 2$ для I-й и 2-й групп соответственно. Время обслуживания требований обоих видов распределено по экспоненциальному закону с интенсивностями обслуживания $\mu 1$ и $\mu 2$.

Состояние системы определяет вектор $S = (S1, S2)$, компоненты которого $S1$ и $S2$ представляют числа требований обоих видов, находящихся в системе.

При построении модели принимаем, что обслуживающие аппараты работают без отказов. Данный процесс, с учетом сделанных допущений, может быть отнесен к марковским процессам с непрерывным временем.

Разработку модели целесообразно начать с рассмотрения полнодоступной СМО, разбив задачу на два этапа:

- определение стационарных вероятностей состояний для требований I-го типа;
- определение стационарных вероятностей состояний для требований 2-го типа.

Учитывая допущение о правиле абсолютных приоритетов, решение I-го этапа не представляет каких-либо значительных трудностей. Обозначая $\lambda 1/\mu 1$ через ρ, получим следующие выражения для предельных вероятностей состояний:

$$\left.\begin{aligned} P_{i+1} &= P_i\,(n1-i)\rho/(i+1) && (0 \le i < C) \\ P_{i+1} &= P_i\,(n1-i)\rho/C && (C \le i \le n1) \end{aligned}\right\} \qquad (I4)$$

Значение вероятности P_0 легко найти с помощью нормировочного условия:

$$P_0 = 1 - \sum_{i=1}^{n1} P_i \qquad (I5)$$

Заметим, что аналогичный результат можно получить, используя общий размеченный граф состояний полнодоступной СМО (рис. 4) в качестве объекта свертки.

Возможность свертки по столбцам определяется тем, что плотности вероятностей перехода из состояний строки i в состояния строк $i+I$ и $i-I$ и наоборот - одинаковы для всех столбцов.

Применяя общее известное правило составления дифференциальных уравнений для вероятностей перехода (оно справедливо для любой непрерывной марковской цепи), можно записать систему $n2 + I$ таких уравнений. Сложив почленно их левые и правые части и учитывая, что, в общем случае, $P_i = \sum_{j=0}^{n2} P_{ij}$, получаем уравнения, соответствующие структуре свернутого по столбцам графа.

V012592

Одесский технол[illegible]ский институт пищ[illegible] промыш-

Размеченный граф состояний полнодоступной С.М.О.

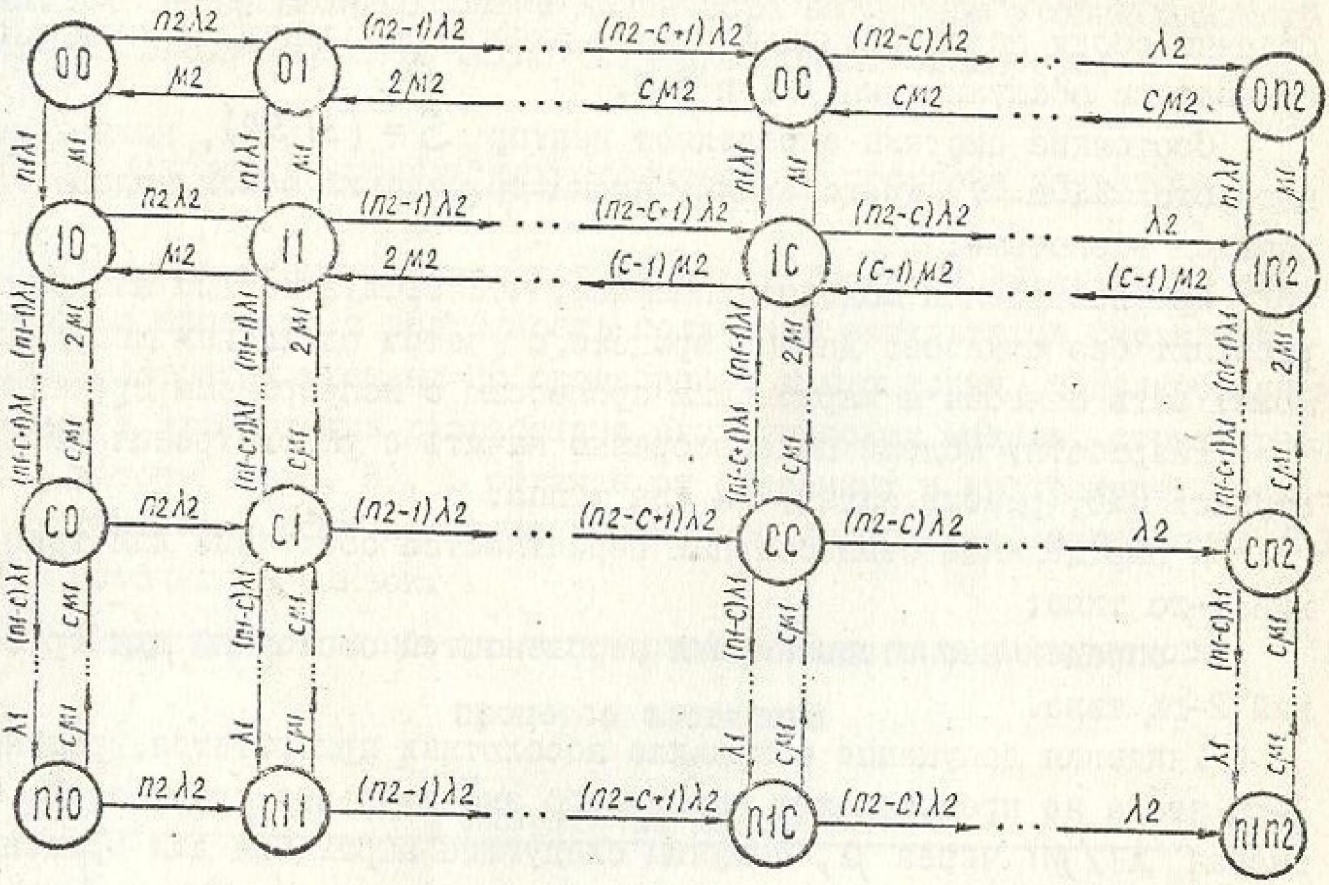

Рис.4

Для вычисления вероятностей перехода, относящихся к требованиям 2-го вида, можно провести аналогичную свертку графа по строкам. При этом для графа полнодоступной системы с любым числом обслуживающих аппаратов и источников требований обоих видов общая интенсивность, переводящая систему из состояния j графа в состояние $j-1$, равна сумме произведений интенсивностей обслуживания требований 2-го типа по строкам графа на стационарные вероятности того, что в системе будет находиться i требований 1-го типа.

Принимая во внимание, что $\Pi_j = \sum_{i=0}^{n1} P_{ij}$, и используя общее решение для схемы гибели и размножения, получим предельные вероятности состояний для требований 2-го вида:

$$\left.\begin{aligned} \Pi_{j+1} &= \Pi_j\,(n2-j)\lambda 2/((j+1)\mu_{j+1}^{(2)}) && (0 \le j < c) \\ \Pi_{j+1} &= \Pi_j\,(n2-j)\lambda 2/(c\mu_{j+1}^{(2)}) && (c \le j \le n2) \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

$$\Pi_0 = 1 - \sum_{j=1}^{n2} \Pi_j \qquad (17)$$

Рассмотренная выше полнодоступная СМО является частным случаем системы с неполной доступностью ОА. Практические наблюдения позволяют принять допущение о том, что наличие в очереди более одного тре-

бования , при хотя бы одной свободной нории, – событие маловероятное. В этом случае вероятность того, что i требований I-го типа займут $i-$ I обслуживающий аппарат равна

$$\alpha_{i-1} = C_{c-K1}^{i-1-K1} / C_c^{i-1} \qquad (K1+1 \leq i \leq c) \qquad (18)$$

В зависимости от того, какое число обслуживающих аппаратов в системе занято i требованиями I-го вида, изменяется число ОА, находящихся в распоряжении требований 2-го вида (C^*) и коэффициент их доступности (K^*). По аналогии, для вероятности того, что j требований 2-го вида займут $j-$ I канал обслуживания, можно записать:

$$\alpha_{j-1} = C_{c^*-K^*}^{j-1-K^*} / C_{c^*}^{j-1} \qquad (K^*+1 \leq j \leq c^*) \qquad (19)$$

Применение приведенной выше методики свертки по столбцам и строкам для графа неполнодоступной СМО и правила определения общих интенсивностей обслуживания требований 2-го вида ($\mu_{K\text{э}}^{(2)}$) позволило получить решение относительно стационарных вероятностей P_i и Π_j в следующем виде:

$$\left.\begin{aligned} P_0 &= \left[1 + \frac{n1\lambda_1}{\mu_1^{(1)}} + \frac{n1(n1-1)\lambda_1^2}{\mu_1^{(1)}\mu_2^{(1)}} + \cdots + \frac{n1!\,\lambda_1^{n1}}{\prod\limits_{K=1}^{n1}\mu_K^{(1)}}\right]^{-1} \\ P_i &= P_0 \frac{n1(n1-1)\cdots(n1-i+1)}{\prod\limits_{K=1}^{i}\mu_K^{(1)}}\lambda_1^i \end{aligned}\right\} \qquad (20)$$

$$\left.\begin{aligned} \Pi_0 &= \left[1 + \frac{n2\lambda_2}{\mu_{1\text{э}}^{(2)}} + \frac{n2(n2-1)\lambda_2^2}{\mu_{1\text{э}}^{(2)}\mu_{2\text{э}}^{(2)}} + \cdots + \frac{n2!\,\lambda_2^{n2}}{\prod\limits_{K=1}^{n2}\mu_{K\text{э}}^{(2)}}\right]^{-1} \\ \Pi_i &= \Pi_0 \frac{n2(n2-1)\cdots(n2-j+1)}{\prod\limits_{K=1}^{j}\mu_{K\text{э}}^{(2)}}\lambda_2^j \end{aligned}\right\} \qquad (21)$$

Определение вероятностей P_i ($i=0,1,\ldots,n1$) и Π_j ($j=0,1,\ldots,n2$) явилось основой вычисления основных характеристик неполнодоступной СМО для каждого вида требований:

– чисел требований, находящихся в системе, в том числе на обслуживании и в очереди;

– коэффициентов использования обслуживающих аппаратов;

– средних значений времени ожидания начала обслуживания.

Используя свойство замкнутых СМО, в которых цикл подачи требования на обслуживание источника ($t_{цтр}$) складывается из времени работы источника (t_{pi}) и времени пребывания в системе (t_{npi}), и предположение о стационарности реального процесса, произведена увязка выходных характеристик неполнодоступной СМО с характеристиками функционирования реальных объектов. Это позволяет определить:

- среднее число требований обоих видов, обслуженных в системе за время моделирования (Т);
- общий интегральный коэффициент использования норий;
- объемы операций внешней и внутренней работы за время Т;
- пропускную способность элеватора за время Т;
- среднее время простоев технологических машин.

Для практического использования разработанного алгоритма на языке АЛГОЛ реализована программа для ЭВМ ОДРА - 1204.

Анализ процесса функционирования технологических схем элеваторов на основе использования математических моделей

В качестве основных объектов исследования выбраны два крупнейших в СССР базисно-перевалочных элеватора типа БП-5х350 (Рыбинский и Омский) и широко распространенные заготовительные элеваторы Л-4х175 и ЛВ-4х175, имеющие мощное технологическое оборудование для обработки поступающего зерна. Особый интерес к анализу работы этих объектов вызван тем, что именно на них в первую очередь будет целесообразным внедрение АСУ элеватором.

Основной целью исследования работы технологических схем элеваторов являлась экспериментальная проверка работоспособности обеих моделей на примере определения возможностей транспортирующего и технологического оборудования при различных интенсивностях потоков заявок от приемных и отпускных устройств и максимальной внутренней работе элеватора.

При моделировании работы элеватора БП-5х350 (г. Рыбинск) в наиболее загруженные сутки доказана адекватность разработанных моделей реальному объекту (см. табл. I).

Максимальная погрешность основного показателя работы (Q) не превысила 2,2% для имитационной модели и 5,5% - для аналитической.

Выявлено, что для каждого типа рассматриваемых элеваторов существует связь между максимальной суточной пропускной способностью и объемом внешней работы. При этом форма зависимости $Q = f(Q_{вн})$ определяется отношением суммарных мощностей технологических машин -

сепараторов и сушилок ($\Sigma Q_{тм}$) и основных норий элеватора ($\Sigma Q_н$).

Таблица I

Сравнение основных показателей работы Рыбинского элеватора с результатами моделирования

Источник получения данных		Суточный объем работы норий (Q), т			Суточный объем внешней работы ($Q_{вн}$), т			Суточный объем внутренней работы ($Q-Q_{вн}$), т		
		Дата			Дата			Дата		
		5.7. 1973	3.8. 1973	I.II. 1973	5.7. 1973	3.8. 1973	I.II. 1973	5.7. 1973	3.8. 1973	I.II. 1973
Статистические материалы		I0386	9567	930I	6498	7749	4085	3888	I8I8	52I6
Имитационная модель	Значение показателя	I0476	9466	9I04	6490	7400	4330	3986	2066	4774
	Погрешность, %	0,87	I,04	2,I2	0,I2	4,50	6,0I	2,52	I3,64	8,I5
Аналитическая модель	Значение показателя	I0I8I	9045	9572	6309	7I64	3973	3872	I88I	5599
	Погрешность, %	I,95	5,45	2,92	2,9I	7,45	2,74	0,4I	3,47	7,06

Эксперименты проводились при изменении интенсивности потока заявок внешних источников, соответствующей изменению $Q_{вн}$ в диапазоне $(0,5 \div I,0)\, Q_{вн\,max}$, где $Q_{вн\,max}$ – определенный заданием максимально возможный для данного элеватора объем внешней работы. Для каждого $Q_{вн}$ были получены семейства кривых $Q = f(Q_{вн})$ (см. рис. 5), определяемых заявочным уровнем (Zu) – параметром, характеризующим запасы зерна в верхних бункерах технологических машин и свободного объема – в нижних в момент возникновения заявки на обслуживание. При этом Zu задается в процентах (долях) от номинальной емкости бункера.

В таблице 2 представлены диапазон изменения $Q_{вн}$ и соответствующий ему диапазон изменения Q_{max} при колебаниях Zu от 0,3 до 0,9.

Анализ данных моделирования показал, что если значение $\Sigma Q_{тм} / \Sigma Q_н < 0,5$, то максимуму пропускной способности элеватора соответствует $Q_{вн} > 0$. В противном случае максимально возможный объем суточной работы будет достигнут только при выполнении операций внутренней работы.

Зависимость суточной пропускной способности элеватора БП-5х350 г. Омска от Zц и Qвн

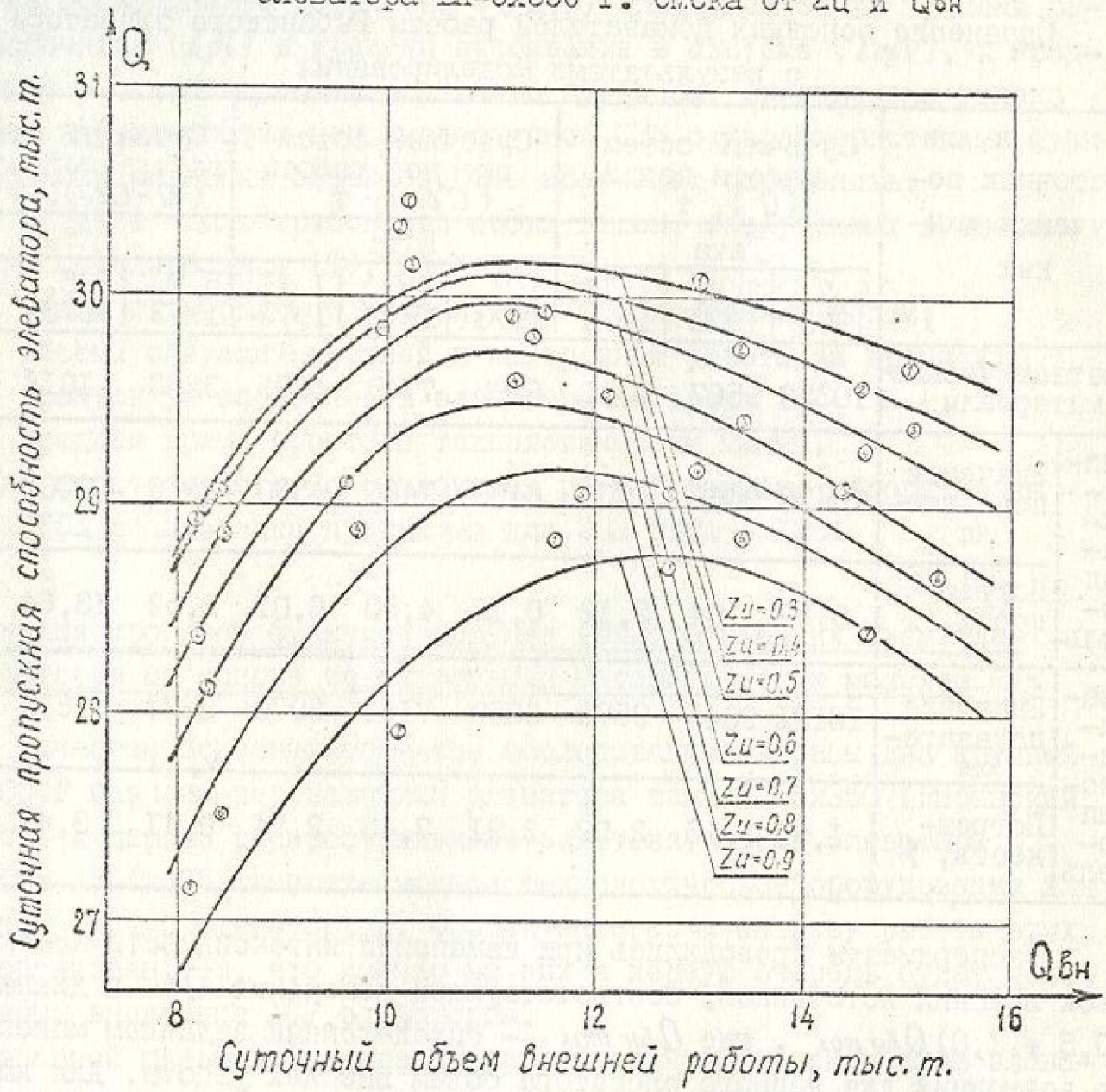

Рис. 5

К числу таких элеваторов относится Л-4х175, у которого $\Sigma Q_{тм} / \Sigma Q_н = 0,629$.

Таблица 2

Диапазоны изменения объема внешней работы и максимальной суточной пропускной способности элеваторов

Элеватор	Диапазон изменения $Q_{вн}$, тыс. т.	Диапазон изменения Q_{max}, тыс. т.
БП-5х350 (г. Омск)	10,8 ÷ 12,8	30,3 ÷ 28,7
БП-5х350 (г. Рыбинск)	12,2 ÷ 14,2	28,6 ÷ 27,0
ЛВ-4х175 (типовой)	8,3 ÷ 9,2	11,9 ÷ 11,5

Примечание: начало диапазона изменения обеих величин соответствует Zu = 0,3.

Таким образом, при значительных общих объемах суточной работы и высоких значениях засоренности и влажности поступающего зерна можно рекомендовать работу при значениях Zu, не превышающих 50%.

С помощью обеих моделей получены зависимости изменения общего времени простоев технологических машин (Tпроb), общего времени ожидания начала обслуживания (Togob), общих коэффициентов использования норий по времени (Ktob) и производительности (Kиob) от величины заявочного уровня при различных объемах внешней работы.

Анализ этих зависимостей подтвердил целесообразность использования основного транспортирующего оборудования при заявочных уровнях 30 ÷ 50%. Однако, при небольших значениях $Q_{вн}$ можно вести процесс при Zu = 0,5 ÷ 0,7 без значительного ухудшения характеристик Tпроb, Togob, Ktob и Kиob.

Расчеты, проведенные с помощью имитационной модели, позволили выявить, что структурное строение технологической схемы элеватора ЛВ-4хI75 при номинальных объемах внутренней и внешней работы не обеспечивает равномерной загрузки основных норий. Так, при $Q_{вн}$ = 0,8 $Q_{вн\,max}$ разность коэффициентов использования по времени I-й и 4-й норий составляет 0,366, а при увеличении $Q_{вн}$ до $Q_{вн\,max}$ $K_{t_1} - K_{t_4}$ = 0,290. Это объясняется тем, что 4-я нория недостаточно "универсальна", т.е. имеет связь с меньшим числом источников заявок, чем любая из остальных норий - 7 (против I0 - у I-й и 3-й норий и I2 - у 4-й). Однако, при таком анализе во внимание следует принимать и состав связей нории, обращая внимание на интенсивность возникновения заявок от рассматриваемого источника и их величину.

Для того, чтобы показать возможность использования разработанных моделей при проектировании элеваторов, было проведено моделирование их работы при изменении емкостей оперативных бункеров технологических машин от 50% до 200% номинальной (Eбном) и времени холостых пробегов (tхп) от 0,03 часа до 0,II часа.

Расчеты подтвердили предположение об увеличении пропускной способности элеватора при возрастании размера оперативных бункеров технологических машин, конкретизировав его цифровыми данными, при анализе которых удобно использовать величину отношения прироста суточной пропускной способности (ΔQ) к суммарному дополнительному объему оперативных бункеров ($\Sigma \Delta E_б$), вызвавшему этот прирост.

На основе данных таблицы 3 можно сделать вывод о том, что на-

ращивание емкости оперативных бункеров более эффективно для элеваторов, имеющих мощное норийное оборудование, и целесообразно при значениях $\Delta Q/\Sigma\Delta Eб$, превышающих 0,05 ÷ 0,10.

Таблица 3

Прирост суточной пропускной способности при увеличении суммарной емкости оперативных бункеров на 1 т при $Q_{вн} = 0,8\ Q_{вн\ max}$ и $Zu=$

Элеватор	Диапазон изменения средней емкости бункера, т								
	50 ÷ 100			100 ÷ 200			200 ÷ 400		
	$\Sigma\Delta Eб$, т	ΔQ, т	$\Delta Q/\Sigma\Delta Eб$, т/т	$\Sigma\Delta Eб$, т	ΔQ, т	$\Delta Q/\Sigma\Delta Eб$, т/т	$\Sigma\Delta Eб$, т	ΔQ, т	$\Delta Q/\Sigma\Delta$ т/т
БП-5х350 (г.Омск)	800	670	0,837	1600	600	0,375	3200	140	0,044
Л-4х175 (типовой)	700	80	0,114	1400	150	0,107	2800	80	0,029
Л-2х100 (типовой)	300	50	0,167	600	20	0,033	–	–	–

Дополнительным эффектом, который может быть получен при увеличении емкости оперативных бункеров, является снижение времени простоев технологических машин. Например, наличие удвоенной емкости оперативных бункеров на Кировск-Омском элеваторе гарантировало бы отсутствие простоев технологических машин при значительных объемах внешней работы.

Увеличение значения t хп в диапазоне 0,03 ÷ 0,11 часа вызывает линейное падение Киоb для всех рассмотренных элеваторов и незначительное увеличение времени простоев технологических машин (на 11,9 часа для Кировск-Омского элеватора и на 4,4 и 4,3 часа для элеваторов Л-4х175 и Л-2х100 соответственно).

Данные проведенных исследований показали, что несмотря на различный принцип построения моделей, обеспечивается хорошее совпадение моделируемых значений основного показателя работы – суточной пропускной способности. Так, например, из 98 значений Q, полученных при моделировании элеваторов БП-5х350 (гг. Омск и Рыбинск), Л-4х175 и ЛВ-4х175 в широком диапазоне изменения $Q_{вн}$ и Zu, лишь в двух случаях относительная погрешность результатов превысила 10% (10,59% и 10,70%).

Итогом теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в диссертационной работе, явились следующие результаты:

1. Разработана обобщенная принципиальная технологическая схема, позволяющая выделить технологический процесс элеватора любого типа и назначения как свою составную часть.

2. Сформулированы обобщенная математическая постановка задачи моделирования технологического процесса элеватора, как поточно-транспортной системы, и основные принципы построения моделирующего алгоритма.

3. При введении некоторых допущений в исходную постановку задачи, разработан вычислительный алгоритм имитационного моделирования, учитывающий значительное количество факторов, влияющих на ход технологического процесса элеватора.

4. Разработана аналитическая модель технологического процесса элеватора, позволяющая учитывать приоритет и среднюю доступность по каждой группе источников заявок.

5. Для обоих моделей составлены программы их реализации на языке АЛГОЛ, которые отлажены на ЭВМ ОДРА - 1204. Предложено использовать разработанные модели для анализа работы технологических схем существующих элеваторов, оперативного планирования технологического процесса и проектирования новых элеваторов. При этом использование аналитической модели целесообразно для быстрых приближенных расчетов, а имитационной - для получения уточненных характеристик процесса.

6. Проведена экспериментальная апробация вычислительных алгоритмов и программ при исследовании работы технологических схем реальных элеваторов. Показана адекватность моделей обоих видов реальным объектам.

7. Проведенные исследования позволили установить некоторые особенности работы элеваторов, в частности:

- зависимость суточной пропускной способности элеватора от объема внешней работы определяется отношением суммарных производительностей технологических машин и основных норий и величиной заявочного уровня;

- при значительных общих загрузках элеватора наибольшая эффективность технологического процесса достигается при $Zu = 0,3 \div 0,5$, а при небольших - при $Zu = 0,5 \div 0,7$.

8. С помощью имитационной модели установлены причины неодинаковой загрузки норий элеватора ЛВ-4х175 и дана количественная оценка "несбалансированности" его технологической схемы.

9. Структурное построение имитационной модели предусматривает возможность её дальнейшего совершенствования и проведения на этой основе оптимизации технологического процесса.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Раковская Е.М., Бахвалов А.А., Нигай А.А. Совершенствование процесса управления на элеваторе с использованием средств вычислительной техники. В информационном бюллетене научно-технического сборника "Электротехническая промышленность", серия "Общеотраслевые вопросы", 1973, вып.8 (411).

2. Бахвалов А.А., Раковская Е.М. Исследование и анализ технологического процесса приема зерна с водного транспорта и методов его организации с использованием ЭВМ. Сб. трудов МТИПП "Применение вычислительной техники и электроники" (для пищевой промышленности), 1974, вып.1.

3. Месяцев П.П., Бахвалов А.А., Карпов В.И., Селехов М.Н. Имитационная модель технологической схемы элеватора как системы массового обслуживания. Сб. трудов МТИПП "Применение вычислительной техники и электроники" (для пищевой промышленности), 1974, вып.1.

4. Месяцев П.П., Бахвалов А.А., Карпов В.И., Черненький В.М. Алгоритм, моделирующий работу технологической схемы элеватора. Сб. трудов МТИПП "Применение вычислительной техники и электроники" (для пищевой промышленности), 1974, вып.1.

5. Бахвалов А.А., Раковская Е.М., Карпов В.И. Моделирование технологического процесса на элеваторе при разработке АСУ ТП. ж. "Приборы и системы управления", 1975, №2.

6. Бахвалов А.А., Раковская Е.М., Карпов В.И., Чак Л.А. Улучшили процесс приема зерна с водного транспорта. ж. "Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность", 1975, №3.

7. Бахвалов А.А., Карпов В.И., Раковская Е.М. Исследование эффективности управления и организации технологического процесса на элеваторах методом имитационного моделирования. Тезисы III Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Достижения и перспективы развития технической кибернетики", Киев, 1975, май.

Л-52317 от 13/8 1975 г. Зак. 1846 Тир. 200

Типография ХОЗО Госплана СССР