

На правах рукописи

Аспирант САМКОВ Александр Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЦВМ В СИСТЕМЕ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
СОРТИРОВОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ НА ГОРКЕ**

(специальность 05.13.14 — автоматическое управление
и регулирование на железнодорожном транспорте)

Диссертация написана на русском языке

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

На правах рукописи

Аспирант САМКОВ Александр Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЦВМ В СИСТЕМЕ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
СОРТИРОВОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ НА ГОРКЕ

(специальность 05.13.14 — автоматическое управление
и регулирование на железнодорожном транспорте)

Диссертация написана на русском языке

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

4829 а

НТБ
ДНУЗТ

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам автореферат диссертации аспиранта А. Н. САМКОВА. Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в публичной защите диссертации или прислать свой отзыв в 2-х экземплярах.

Работа выполнена на кафедре «Электронные вычислительные машины» Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор Евгений Миронович **Шафит**.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Владимир Егорович **Павлов**, кандидат технических наук, доцент Юрий Александрович **Кравцов**.

Ведущее предприятие — Управление вычислительной техники Главного Управления сигнализации и связи.

Автореферат разослан «*1* *сентября*» 1973 г.

Защита диссертации состоится «*5*» *октября* 1973 г. на заседании Ученого совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Адрес института: 320629, ГСП, г. Днепропетровск, 10, Университетская, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДИИТа.

Ученый секретарь Совета к. т. н., доцент А. Ф. **ЛОГВИН**

Задачи, поставленные директивами XXIV съезда КПСС по 9-ому пятилетнему плану перед железнодорожным транспортом страны, требуют на 22% увеличить объем перевозок и существенно повысить производительность труда. Это влечет за собой необходимость увеличения перерабатывающей способности сортировочных станций и их основного производственного звена — сортировочных горок.

Повышение перерабатывающей способности сортировочных горок является важной теоретической и практической задачей. Ее решение в настоящее время невозможно без широкого применения математических методов и новейших технических средств, среди которых одно из основных мест занимают электронные вычислительные машины (ЭВМ).

В основу комплексной автоматизации сортировочного процесса на горках могут быть положены работы советских и зарубежных ученых. Крупный вклад в развитие систем автоматизации отечественных сортировочных горок внесли профессор А. М. Брылеев, С. П. Бузанов, А. М. Долаберидзе, Н. Ф. Котляренко, В. Д. Никитин, В. Е. Павлов, А. С. Переборов, Е. М. Шафит, Н. Р. Ющенко, А. А. Яблонский, кандидаты технических наук А. В. Быкадоров, В. К. Буянова, Г. А. Красовский, Ю. А. Муха, И. И. Страковский, В. С. Скабланович, Н. М. Фонарев, инженеры В. Д. Ратников, Л. Б. Тишков, Ю. В. Ульянычев и другие.

По результатам исследований в ЦНИИ МПС, Уральском отделении ЦНИИ МПС, институте «Гипротрансигналсвязь» были созданы системы АРС, ГАЦ, АЗСР, ТГЛ, ГПЗУ, КРУГ, которые значительно улучшили качество сортировочного процесса, увеличили скорость переработки вагонов и облегчили работу обслуживающего персонала станции.

В последние годы на железных дорогах США, Канады, ФРГ, Франции, Японии появились сортировочные станции, автоматизированные на основе управляющих ЭВМ. Управление расформированием составов на горках также осуществляется ЭВМ.

Высокая эффективность и потенциальные возможности, заложенные в подобных системах, позволяют значительно увеличить объем переработки сортировочных горок, что чрезвычайно актуально для отечественных железных дорог.

Целью настоящей работы является исследование некоторых задач, возникающих при создании системы автоматического управления сортировочным процессом (САУСП) на базе управляющей ЦВМ. В работе рассмотрены следующие основные вопросы:

1. Разработка машинных алгоритмов и программ решения частных технологических задач, возникающих при сортировке вагонов на горках, с целью определения параметров управляющей ЦВМ и моделирования работы САУСП.

2. Исследование качественных и количественных показателей алгоритмов и программ с помощью моделирования на ЦВМ общего назначения.

3. Определение основных технических требований к центральному звену системы управления — ЦВМ.

4. Анализ требований к надежности САУСП и исследование путей ее повышения с учетом технико-экономических показателей.

5. Исследование количественных и качественных показателей функционирования САУСП путем моделирования на ЦВМ общего назначения.

В первой главе выполнен анализ объекта управления, существующих локальных систем горочной автоматики и систем автоматизации горок на базе ЭВМ.

При роспуске составов на сортировочных горках необходимо управлять большим количеством объектов. Выработка управляющих воздействий для некоторых объектов требует реализации сложных алгоритмов, качественной и количественной оценки сложившейся ситуации и проверки ряда логических условий. Ручное управление влечет за собой напряженную работу операторов, приводит к большому количеству сбоев и является малоэффективным.

Созданные к настоящему времени локальные системы горочной автоматики позволили автоматизировать часть технологических операций, облегчили работу горочных операторов, повысили скорость переработки составов.

Однако, локальные системы используют упрощенные алгоритмы, их технические средства не позволяют реализовать более развитые алгоритмы, некоторые системы не имеют

общей информационной и структурной базы. Необходимость в расширении круга решаемых задач приводит к появлению новых устройств (горочное контрольно-регистрирующее устройство, информационно-логическое устройство), что в конечном счете повышает стоимость, снижает надежность системы управления горкой и не решает задачу комплексной автоматизации сортировочного процесса.

Переход к новым алгоритмам управления влечет за собой необходимость коренной перестройки локальных систем.

Применение управляющей ЦВМ на горке позволяет создать систему, имеющую общую информационную и структурную базу, использовать для управления оптимальные или субоптимальные алгоритмы. С помощью ЦВМ легко могут быть решены различные логические задачи, возникающие как в ходе роспуска, так и при ликвидации последствий сбоев сортировочного процесса. Изменение алгоритмов управления повлечет за собой лишь переделку некоторых программ, что выполняется значительно проще, нежели создание новой системы. Это подтверждается многочисленными примерами применения ЦВМ для управления сортировочными горками за рубежом.

К настоящему времени ЦВМ установлены более, чем на 20-ти зарубежных сортировочных станциях и ведутся работы по оснащению горок ряда станций управляющими машинами. Все это подтверждает перспективность использования управляющей ЦВМ в системе автоматического управления сортировочным процессом на горке.

Во второй главе рассматриваются алгоритмы и машинные программы основных технологических задач, возникающих при расформировании составов на горках.

Основными задачами, решение которых должно быть возложено на ЦВМ, являются:

- расчет скорости роспуска для каждого отцепа;
- (ТП) — задание выходных скоростей из тормозных позиций (интервальное и прицельное управление);
- управление стрелками для задания маршрута;
- регистрация нарушений специализации отцепами;
- нормализация процесса роспуска после сбоя;
- выдача информации расцепщику и в систему ТГЛ.

Для обеспечения процесса роспуска необходимой информацией на каждый отцеп составляется макет, включающий порядковый номер отцепа в составе, вес и длину отцепа, число пар осей и число вагонов, код весовой категории и хо-

довых свойств, код пути назначения, скорость роспуска и признак пути надвига при параллельном роспуске. Информационная емкость макета — 53 бита.

Применение переменной скорости роспуска составов позволит значительно увеличить перерабатывающую способность сортировочных станций. Расчету переменной скорости роспуска посвящены работы А. В. Быкадорова, В. К. Буяновой, Ю. А. Мухи, В. С. Скабаллановича, Е. М. Шафита и др. Наиболее полные алгоритмы предложены В. К. Буяновой и Е. М. Шафитом, которые позволяют реализовать среднюю скорость роспуска 9—10 км/час. Оба алгоритма основаны на моделировании процесса скатывания пары смежных отцепов и итерационном вычислении скорости.

В данной работе принят алгоритм, предложенный Е. М. Шафитом. Программа вычисления скорости роспуска для одного состава требует выполнения около 1 млн. машинных операций и занимает около 1600 ячеек памяти.

Задание скоростей выхода отцепов из ТП должно производиться с учетом сложившейся ситуации на спускной части горки. Задание скоростей выхода из ТП без учета реальной обстановки (разомкнутая система) требует выполнения небольшого числа операций, но приводит к большому количеству нарушений процесса сортировки. Предлагаемый алгоритм управления (с обратной связью) учитывает характеристики и пространственное положение отцепов к моменту задания тормозимому отцепу скорости роспуска. На основании информации о ходовых свойствах отцепов и интервалах между ними осуществляется корректировка режимов торможения отцепов и ранее вычисленной скорости роспуска.

Обратная связь (ОС) со второй ТП на первую и с первой в систему ТГЛ улучшает качество управления. Реализация алгоритма управления первой ТП с ОС требует выполнения в среднем 8-ми тысяч операций. В отдельных случаях, при пересчете скоростей роспуска большого количества отцепов состава требуется выполнять 300—400 тысяч операций.

Управление стрелками осуществляется с помощью двоичного кода номера пути назначения. Старшая цифра кода изображает положение первой стрелки по ходу скатывания, а младшая — последней. При выходе очередного отцепа с соответствующего изолированного стрелочного участка в ЗУ осуществляется поиск макета последующего отцепа, в маршруте которого имеется эта же стрелка, и производится установка ее в нужное положение.

Выявление нагонов на спускной части горки осуществляется с помощью счетчиков осей, установленных на границах стрелочных участков. При входе отцепа на стрелочный участок в счетчики из макета отцепа заносится число осей в отцепе и по мере прохождения осей через границы производится вычитание из содержимого счетчиков. В случае, если новая информация поступает в счетчик, не установленный в нуль, вырабатывается сигнал нагона. Этот способ не требует специального учета длиннобазных вагонов и позволяет обнаружить неверные расцепы. Макеты отцепов, нарушивших специализацию, помечаются специальными признаками.

Направление отцепов, нарушивших специализацию, на отсевные пути осуществляется по программе, подобной программе управления стрелками. В случае невозможности использования отсегового пути, программа выбирает для отцепа путь, с которого он может быть переставлен на путь в соответствии со специализацией с минимальными затратами.

Наличие в макете отцепа номера пути назначения облегчает процедуру изменения номера, так как при этом не требуется корректировка макетов других отцепов. Программа управления стрелками занимает 50 ячеек ЗУ.

Для повышения надежности вычислений вводится алгоритмический контроль. Вычисленные скорости роспуска и скорости выхода отцепов из ТП удобнее всего проверить стробированием — сравнением результата с максимально и минимально возможным значением. Большой диапазон чисел, представляемых разрядной сеткой ЦВМ, и сравнительно малый диапазон скоростей приводит к высокой достоверности системы контроля.

Проведенное программирование и моделирование на ЦВМ общего назначения частных технологических задач позволяет оценить в первом приближении требуемый объем ЗУ и временные характеристики программ.

Составлены программы на проблемно-ориентированном языке АЛГОЛ-60.

В третьей главе производится выбор технических параметров управляющей ЦВМ, к которым относятся объем запоминающего устройства (ЗУ), быстродействие процессора, разрядность информации.

Количество ячеек ЗУ машины общего назначения, необходимое для решения частных технологических задач, может в первом приближении характеризовать объем ЗУ, требуемый в управляющей ЦВМ. Программы и константы удобно хра-

нить в одностороннем ЗУ. Полный объем ЗУ определяется данными таблицы.

Количество рабочих ячеек объектов выбирается равным удвоенному количеству управляемых объектов сортировочной горки.

Т а б л и ц а

Наименование информации	Количество слов	Разрядность	Тип ЗУ
Программы	1400	17	Одностороннее
Константы	400	16	»
Исходные данные	256	53	Оперативное
Рабочие ячейки программ	900	16	»
Рабочие ячейки объектов	282	53	»

Требования к быстродействию управляющей ЦВМ зависят от сложности алгоритмов решения частных технологических задач и принятого алгоритма функционирования системы.

Простейшим является циклическое обслуживание, при котором в одном цикле вырабатывается информация для каждого управляемого объекта. Длительность цикла должна быть такой, чтобы выходная информация ни для одного объекта не успевала стареть. Новая информация будет выдаваться лишь на часть объектов, а для большей части подтверждается ранее полученная информация. Быстродействие ЦВМ определяется по формуле

$$V = \frac{N_c}{\frac{1-\delta}{1+\alpha} T_3}$$

где N_c — общее количество операций, выполняемых в одном цикле;

α — параметр, показывающий какую часть цикла занимает несовмещенный контроль;

δ — параметр, отражающий способность машины к восстановлению;

T_3 — время цикла.

Время цикла T_3 можно оценить по величине суммарной интенсивности поступления заявок на обслуживание $\Sigma\lambda$. Обработка кривых время — путь, полученных при моделировании отпуска, позволила установить, что $\Sigma\lambda = 0,825$ 1/сек.

При $T_0 = 1$ сек и $(1-\beta) / (1-\alpha) = 0,5$ быстродействие для разомкнутой системы должно быть не менее 20000 опер/сек, а при системе с ОС — около 1 млн. опер/сек.

В связи с тем, что для большинства объектов подтверждается старая информация, использование быстродействия составляет в среднем 7—8%.

Другой способ обслуживания — выполнение программ управления объектами при помощи поступающих от объектов сигналов-заявок. Определение требований к быстродействию производится на основании соотношений теории массового обслуживания. Установлено, что поток заявок, поступающих в ЦВМ подчиняется закону Пуассона с параметром $\Lambda = 0,825$. При оценке требований к быстродействию предполагается, что программы управления объектами имеют абсолютный приоритет перед программой расчета скорости роспуска.

При обслуживании заявок с временными приоритетами среднее время ожидания W заявки в очереди определяется выражением

$$W = \frac{\frac{1}{2} \Lambda \left(\frac{1}{\mu^2} + D \right)}{1 - \rho}$$

где $\rho \triangleq \frac{\Lambda}{\mu}$

$\mu = \frac{V}{L}$ — интенсивность обслуживания заявок;

L — среднее количество операций, выполняемых по одной заявке;

D — дисперсия времени обслуживания заявок.

При присвоении программам относительных приоритетов среднее время ожидания W_k заявки K -го приоритета в очереди равно

$$W_k = \frac{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \lambda_i \left(\frac{1}{\mu_i^2} + D_i \right)}{(1 - \sigma_{k-1})(1 - \sigma_k)}$$

где λ_i — интенсивность поступления заявок i -го приоритета;

μ_i — интенсивность обслуживания заявок i -го приоритета;

D_i — дисперсия времени обслуживания заявок i -го приоритета;

$$\sigma_k = \sum_{i=1}^k \rho_i; \quad \rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$$

Проведенные расчеты для разомкнутой системы и системы с обратной связью показали, что алгоритм диспетчеризации практически не влияет на среднее время ожидания в очереди.

Время ожидания менее 0,01 сек для разомкнутой системы достигается при быстродействии 1500 *опер/сек*, а для системы с ОС — 120000 *опер/сек*. Вероятность превышения временем ожидания τ величины $t_0=0,1$ сек при указанном быстродействии не превышает 0,001.

Длина разрядной сетки R_1 для хранения каждого вида информации определяется из выражения

$$R_1 = \log_2 \left(\frac{|x_i|_{\max} - |x_i|_{\min}}{\Delta x_1} + 1 \right)$$

где $|x_i|_{\max}$ и $|x_i|_{\min}$ — соответственно максимальное и минимальное значение модуля i -ой величины;
 Δx_1 — требуемая точность представления.

Анализ исходных данных и полученных результатов дает основание для выбора $R_1=16$.

При создании любой системы автоматического управления желательно использовать серийные ЦВМ. Это во многом ускорит разработку и внедрение системы. Анализ отечественных средств вычислительной техники позволил установить, что наиболее подходящий для применения в САУСП является машина, составленная на базе блоков АСВТ М-6000. Комплект включает специализированный процессор СПР, быстродействием 200 тыс. *опер/сек*, ОЗУ и ЦЗУ емкостью по 4096 слов, устройство ввода с перфоленты (УВвПл); устройство печати с клавиатурой (УПК), канал прямого доступа в память (КПДП) и ряд устройств связи с объектами.

В четвертой главе определяется технико-экономическая эффективность применения ЦВМ в САУСП. Рассматривается связь эффективности и надежности.

Экономия эксплуатационных расходов и капитальных затрат, получаемая от повышения скорости роспуска, оценивается по методике, предложенной Ю. А. Мухой. Общая экономия эксплуатационных расходов ΔE , связанных с сортировочной работой, складывается из экономии расходов, не зависящих от объема работы горки, экономии сокращения продолжительности роспуска, экономии от сокращения простоев

составов в ожидании роспуска и экономии от сокращения затрат локомотиво-часов.

Экономия капитальных затрат ΔK связана с высвобождением вагонного парка и сокращением стоимости грузов, находящихся в перевозке.

Расчеты для горок производительностью 5000—20000 вагонов в сутки показали, что $\Delta E = 40—85$ тыс. руб., а $\Delta K = 240—1000$ тыс. руб.

При окончательном расчете эффективности САУСП необходимо оценить общую экономию, которая будет зависеть от потерь, возникающих в связи с возможными отказами ЦВМ в САУСП, и расходов на обслуживание САУСП.

Потери при необнаруженном отказе связаны с нарушением отцепами специализации, соударениями со скоростями, превышающими максимально допустимые, и образованием «окон» на сортировочных путях. В связи с тем, что возникновение различного вида нарушений при отказе ЦВМ зависит от большого числа случайных факторов, оценка вероятности производится методом статистического моделирования. В результате моделирования получено, что вероятность соударения с повышенной скоростью $P_1 = 0,12$, вероятность нарушения специализации $P_2 \approx 1$. Полные потери S на один отцеп будут равны

$$S = P_1 \cdot S_1\beta + P_2 S_2$$

где S_1 — потери от боя;

S_2 — потери на перестановку отцепов;

β — доля случаев превышения скорости, приводящая к бою вагонов.

Так как вероятность нарушения специализации велика, потери от «окон» не учитываются. В результате выполненных расчетов установлено, что средние потери в час при необнаруженном отказе для горок с различным объемом переработки составляют 1,3—5,0 тыс. руб.

Эффективность автоматических систем сильно зависит от надежности. Так как потери от отказов в САУСП известны, требования по надежности могут быть заданы достаточно обоснованно и выбраны пути обеспечения требуемого уровня надежности.

Для оценки надежности рассматривается обобщенная диаграмма состояний ЦВМ. Считая переходы из одного состояния в другое дискретными в пространстве, непрерывными во времени и подчиняющимися экспоненциальному закону

распределения, применяем для анализа диаграммы состояний элементы теории марковских цепей.

Обозначим состояние ЦВМ в САУСП следующим образом:

$P_{01}(t)$ — готовность к обслуживанию заявок;

$P_{02}(t)$ — нахождение в состоянии необнаруженного отказа;

$P_{03}(t)$ — нахождение в режиме профилактики;

$P_{04}(t)$ — нахождение в ремонте.

Матрица переходов имеет следующий вид

$$P = \begin{pmatrix} 1 - (\lambda + \nu) dt & \lambda dt & \nu dt & 0 \\ 0 & 1 - (\nu + \mu) dt & \nu dt & \mu dt \\ \Theta dt & 0 & 1 - \Theta dt & 0 \\ \gamma dt & 0 & 0 & 1 - \gamma dt \end{pmatrix}$$

Здесь λ — интенсивность отказов; μ — интенсивность обнаружения отказов; ν — интенсивность проверок исправности; γ — интенсивность ремонтов; Θ — интенсивность профилактики.

Переходя к системе дифференциальных уравнений Колмогорова—Чепмена, связывающих вероятности пребывания системы в каждом состоянии и учитывая, что для стационарных условий $\frac{dP_{0i}(t)}{dt} \rightarrow 0$, решение приводится к решению системы алгебраических уравнений при нормирующем условии $\sum_{i=1}^4 P_{0i}(t) = 1$

Рассматриваемой матрице переходов $\|P_{0i}\|$ соответствует вектор потерь $\|r_i\|$, где r_i — потери за единицу времени пребывания в i -ом состоянии. Потери R в единицу времени наводятся из выражения

$$R = \sum_{i=1}^4 P_{0i} r_i$$

Годовые потери S_r от необнаруженных отказов и от снижения скорости роспуска при ремонте и профилактике составляют

$$S_r = (P_{02} S_t + P_{03} \cdot S_c + P_{04} \cdot S_c) \cdot 24 \cdot 365$$

где S_c — потери в час от снижения скорости роспуска при переходе на ручное управление.

Снизить потери можно соответствующей организацией профилактического обслуживания. Время между профилактиками x определяется из выражения

$$e^{\lambda x} - \lambda x = 1 + \lambda \frac{S_c}{S_t}$$

В связи с малой величиной отношения S_c/S_t , время между профилактиками оказывается малым (2—3 часа), что приводит к необходимости частого включения горочного оператора в работу.

Готовность системы к обслуживанию заявок существенно повышается при использовании дуплекса ЦВМ. Вероятность появления необнаруженного отказа в дуплексе значительно ниже, чем в одной ЦВМ. Период между профилактиками x выбирается из условия обеспечения заданного коэффициента готовности $K_r(x)$

$$K_r(x) = \frac{3}{2\lambda x} + \frac{1}{2\lambda x} e^{-2\lambda(x-\tau_k)} - \frac{1 - e^{-\lambda\tau_k}}{\lambda x} e^{-\lambda x}$$

Среднегодовые потери при применении одной ЦВМ оказываются большими даже при малой интенсивности отказов и могут достичь 130 тыс. рублей. Использование дуплекса машин типа АСВТ М-6000 позволяет снизить потери от необнаруженных отказов до 1,5 тыс. рублей.

Общая оценка эффективности, приведенная по методике, предложенной акад. В. А. Трапезниковым, позволяет связать срок окупаемости $T_{\text{нх}}$ и разность стоимости ΔA САУСП и заменяемых ею систем горочной автоматики.

$$\Delta A = \frac{(\Delta E + \Delta K \cdot E_{\text{н}} - S_r) \cdot T_{\text{нх}}}{1 + 0,25 T_{\text{нх}}}$$

Срок окупаемости САУСП для горок различной производительности составляет 2—4 года.

В пятой главе исследуется функционирование САУСП статистическим моделированием на ЦВМ общего назначения.

Получение количественных и качественных характеристик САУСП до ее создания возможно лишь при статистическом моделировании на ЦВМ. Методы моделирования сложных систем подробно освещены в работах чл.-корр. АН СССР Н. П. Бусленко.

Моделирование на ЦВМ различных задач, связанных с роспуском составов на горке, занимались В. К. Буянова, Ю. А. Муха, В. И. Бобровский, П. А. Пилипченко.

В настоящей работе моделирование проводилось с целью определения работоспособности САУСП, а также получения таких характеристик САУСП, как средняя скорость роспуска, количество и вид нарушений процесса сортировки.

Большая часть информации САУСП является случайными величинами, для которых известны лишь законы и параметры распределений.

Программа моделирования САУСП состоит из четырех частей.

1. Расчет скоростей роспуска отцепов состава;
2. Задание в соответствии с принятыми законами и параметрами распределения случайных значений ходового сопротивления, отклонений скорости роспуска и скоростей выхода отцепов из ТП от расчетных значений.

Законы и параметры распределений случайных величин приняты на основании исследований, выполненных ЦНИИ МПС и горочно-испытательной лабораторией ДИИТа.

3. Расчет скоростей и времен движения смежных отцепов;
4. Обработка таблиц путь—время—скорость для смежных отцепов и определение количества нагонов, скоростей соударений на путях и спускной части горки, количество и размеров «окон».

С помощью первой части программы проведено исследование влияния на скорость роспуска недостоверности информации о ходовых свойствах отцепов и ограничений, накладываемых скоростью расцепки и характеристиками горочного локомотива.

Расчеты на ЦВМ показали, что средняя скорость роспуска может достигать 3 м/сек, если ходовое сопротивление точно известно до начала роспуска. При отклонении ходового сопротивления переднего отцепа в паре на величину $+2\sigma$, а для заднего на величину -2σ от средневесового эквивалента (худший случай для разделения отцепов) средняя скорость снижается до 2,5 м/сек. Здесь σ — среднеквадратическое отклонение ходового сопротивления. Ограничение скорости роспуска, накладываемое ручной расцепкой, обеспечивает среднюю скорость роспуска 2,4 м/сек.

Так как результаты, получаемые статистическим моделированием несут случайный характер, для обеспечения их статистической устойчивости необходимые оценки вычисляются по большому числу реализации N .

$$N = t_a^2 \frac{p(1-p)}{\epsilon^2}$$

где p — вероятность появления события, ϵ — точность, t_a — коэффициент, определяемый из таблиц по заданной досто-

верности α . При $\alpha=0,99$ и $\varepsilon=0,1$, для худшего случая $p \approx 0,5$ получаем $N=165$.

Проведенное моделирование функционирования САУСП позволило установить, что при разомкнутой системе количество нагонов на спускной части горки составляет 12—15% от общего количества отцепов для средней скорости роспуска 3 м/сек. Снижение скорости роспуска до 2,5 м/сек уменьшает количество нагонов до 2,5%. В системе с обратной связью нагоны отсутствуют при средней скорости роспуска 2,7 м/сек.

Количество соударений с повышенной скоростью на сортировочных путях для обеих систем практически одинаково и составляет 10—13%. При этом большую часть (8—10%) составляют соударения со скоростями 1,5—2 м/сек.

Практически одинаково для обеих систем является средний размер «окна» — 25—30 метров на отцеп. Большое число соударений с повышенными скоростями и появление «окон» вызвано, по-видимому, большой дальностью неуправляемого скатывания отцепа по путям сортировочного парка и низкой точностью регуляторов ТП.

Моделирование функционирования САУСП при повышенной вдвое точности регуляторов ТП показало, что количество соударений с повышенными скоростями сокращается до 5—6%, а число соударений со скоростями выше 2 м/сек до 0,2%. Средний размер «окна» также сокращается в 1,5 раза.

Следовательно, для качественного управления в САУСП необходимо использовать алгоритм с обратными связями. Желательно иметь регуляторы ТП со среднеквадратическими отклонениями скорости выхода из ТП от заданной $\sigma \leq 0,15—0,2$ м/сек.

На основании проведенных в диссертации исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. В существующих локальных системах горочной автоматики используются технические средства, не позволяющие реализовать оптимальные или близкие к ним алгоритмы управления.

Изменение алгоритмов управления, как правило, приводит к необходимости перестройки локальных систем.

Применение управляющей ЦВМ на горке позволяет осуществлять управление, близкое к оптимальному, решать все задачи, реализуемые локальными системами, значительно повысить скорость и качество роспуска и облегчить работу обслуживающего персонала. Кроме этого, наличие ЦВМ дает

возможность решить те задачи, реализация которых локальными системами была невозможна.

2. В диссертации разработаны алгоритмы решения частных технологических задач управления и контроля, а также программы их реализации на ЦВМ общего назначения. Опытное программирование и моделирование послужили основой для определения времени решения каждой задачи и позволило оценить качество алгоритма.

Предложен алгоритм управления с обратной связью, учитывающий ситуацию на спускной части горки. Его применение существенно повышает качество управления.

3. Моделирование показало, что применение алгоритма субоптимального управления с учетом фактической ситуации на спускной части горки (с обратной связью) обеспечивает среднюю скорость роспуска 2,5—2,7 м/сек. При ручной расцепке средняя скорость роспуска составляет 2,2—2,4 м/сек.

4. На основании результатов опытного программирования и моделирования сформулированы требования к управляющей ЦВМ. Исследования показали, что быстродействие ЦВМ при субоптимальном управлении с обратной связью должно быть ~ 120 тыс. *опер/сек*. Емкость ОЗУ должна составлять 2000 слов, емкость ДЗУ для хранения программ должна иметь объем также 2000 слов. Разрядность слова не менее 16 бит.

Устройство связи с объектом (УСО) должно иметь не менее 150 цифровых и такого же количества аналоговых входов. Число выходных цифровых каналов должно быть не менее 70 и аналоговых — не менее 80.

Управляющая ЦВМ должна работать в реальном масштабе времени.

5. Произведенная оценка возможных экономических потерь, имеющих место при необнаруженном отказе ЦВМ и при переходе на ручное управление после обнаружения отказа, позволяет задать требования к надежности управляющей ЦВМ.

Определение вероятности возникновения нарушений сортировочного процесса при отказе ЦВМ проводилось методом статистического моделирования.

Оценка надежности вычислительного комплекса произведена с помощью анализа диаграммы состояний ЦВМ в САУСП и вероятности переходов из состояния в состояние. При анализе использованы элементы теории марковских цепей.

Показано, что даже при достаточно высокой надежности ЦВМ (коэффициент готовности $K_r=0,999$) ожидаемые потери на горках большой мощности превышают 100 тыс. руб/год. Использование дуплекса вычислительных машин позволяет снизить эти потери почти на два порядка.

6. Статистическое моделирование функционирования САУСП, проведенное на ЦВМ общего назначения, подтвердило работоспособность системы и правильность принятых алгоритмов. Показано, что при средней скорости 2,5—2,7 м/сек нагоны на спускной части горки практически отсутствуют.

Точность прицельного управления повышается незначительно, что определяется не столько алгоритмами, принятыми в САУСП, сколько большой дальностью неуправляемого скачивания, разбросом ходовых свойств отцепов и недостаточной точностью работы регуляторов ТП.

7. Проведенный анализ отечественных средств вычислительной техники позволил установить, что наиболее подходящим для использования в САУСП является вычислительный комплекс, построенный на базе системы АСВТ М-6000. Для его размещения необходима площадь 30—40 кв. м.

8. Годовой экономический эффект от внедрения САУСП составляет в зависимости от объема переработки 80—200 тыс. руб., что обеспечит окупаемость системы на горках большой мощности за 2—4 года.

9. На основе выполненных исследований разработан проект технического задания на систему автоматического управления сортировочным процессом на базе управляющей ЦВМ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Шафит Е. М., Сафрис Л. В., Самков А. Н. О выборе параметров горочной управляющей ЭЦВМ. Труды ДИИТа, вып. 115/2, Днепропетровск, 1972.

2. Шафит Е. М., Самков А. Н. Экономическая эффективность и надежность системы автоматического управления сортировочным процессом с управляющей ЦВМ. Труды ДИИТа, вып. 129/3, Днепропетровск, 1971.

3. Харланович И. В., Шафит Е. М., Сафрис Л. В., Самков А. Н. Эксплуатационные требования к горочной управляющей вычислительной машине. «Железнодорожный транспорт», М., 1972. № 10.

4. Самков А. Н. Основные требования к ЭЦВМ в системе автоматического управления сортировочным процессом на горке. В сб. «Приме-

нение математических методов и электронных цифровых вычислительных машин в эксплуатации железных дорог», МИИТ, М., 1972.

5. Шафит Е. М., Самков А. Н. Влияние достоверности информации о ходовых свойствах отцепов на скорость роспуска в САУ сортировочной горкой. Труды ДИИТа, вып. 140/4, Днепропетровск, 1973.

6. Шафит Е. М., Сафрис Л. В., Самков А. Н. О возможности использования ЦВМ в системе автоматического управления сортировочным процессом. Материалы юбилейной научно-технической конференции ДИИТа, Днепропетровск, 1970.

МАТЕРИАЛЫ ДИССЕРТАЦИИ БЫЛИ ДОЛОЖЕНЫ НА СЛЕДУЮЩИХ НАУЧНЫХ СОВЕЩАНИЯХ И КОНФЕРЕНЦИЯХ:

1. Совместное заседание комиссий вычислительной техники и автоматизации и СЦБ Научно-технического Совета МПС в ноябре 1971 г.

2. Юбилейная научно-техническая конференция ДИИТа в апреле 1970 года.

3. Первая Всесоюзная конференция по надежности проектированию цифровых автоматов в октябре 1971 г.

4. IX общесетевая научно-техническая конференция по применению математических методов и ЭЦВМ в эксплуатации железных дорог в марте 1972 г.

5. Научно-техническая конференция ДИИТа в декабре 1972 г.

6. Семинар «Вычислительная техника и автоматическое управление» кафедры «Электронные вычислительные машины» и Вычислительного центра ДИИТа, в 1970—71—72—73 гг.

БТ 23562. Обл. книж. типогр. Дн-ского обл. управления по делам из-сти, полиграфии и книжной торговли, г. Днепропетровск, ул. Серова, 7. Зак. № 5092. Тираж 200 экз. Объем 1,25 печ. л. Подписано к печати 26.VII 1973 г.