

Б 42

С С С Р - М П С

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант В.И.Бобровский

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗАЦИИ СОРТИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА  
МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

(05.2208 – эксплуатация железных дорог)

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

Днепропетровск  
1973

СССР - МПС

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Аспирант В.И. Бобровский

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗАЦИИ СОРТИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА  
МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

(05.2208 - Эксплуатация железных дорог)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск  
1973

48042

НТБ  
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научные руководители - доктор технических наук,  
профессор Ющенко Н.Р.  
кандидат технических наук,  
доцент Муха Ю.А.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Шафит Е.М.,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Сотников Е.А.

Ведущее предприятие - Главное управление связи и связи МПС.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1973 г.

Защита состоится " " \_\_\_\_\_ 1973 г. на  
заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета  
кандидат технических наук,  
доцент

Логвин А.Ф.

В директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 годы указано, что одной из основных задач в развитии железнодорожного транспорта является дальнейшее увеличение пропускной и провозной способности железных дорог, а также повышение перерабатывающей способности сортировочных станций, направленное на освоение растущего грузооборота, объем которого должен возрасти примерно на 22 процента. Решение этой задачи должно быть выполнено в основном за счет интенсификации и технического совершенствования производства, повышения его эффективности на базе широкого применения математических методов и электронно-вычислительной техники, автоматизации процессов производства и совершенствования управления.

Рост грузооборота, а также концентрация сортировочной работы ведут к значительному увеличению потока перерабатываемых вагонов на крупных сортировочных станциях, для освоения которого предусматривается дальнейшее развитие систем автоматизации процесса расформирования и внедрения их на ряде станций. В этих условиях, исходя из общей тенденции развития народного хозяйства, необходимо эксплуатировать существующие, а также разрабатывать и внедрять новые средства механизации и автоматизации расформирования поездов таким образом, чтобы обеспечить максимальную эффективность сортировочного процесса.

В настоящее время у нас в стране разработаны и внедряются ряд систем автоматизации сортировочного процесса (АСП) - система автоматического задания скорости роспуска (АЗОР ЦНИИ), системы автоматического регулирования скорости роспуска (АРС ЦНИИ, АРС ГТСС), система телеуправления горочным локомотивом (ТГЛ),

система автоматизации задания маршрутов в ГАЦ (ПЗУ) и другие.

Указанные локальные системы позволяют автоматизировать отдельные элементы сортировочного процесса и могут внедряться на горках самостоятельно, либо в определенной комбинации. Очевидно, что каждая из локальных систем АСП по-разному влияет на эффективность сортировочного процесса и поэтому при автоматизации станций возникает сложная задача выбора оптимального ряда технических средств, которые должны входить в состав конкретного сортировочного комплекса. Обоснованное решение данной задачи может быть получено только при наличии достоверных количественных оценок различных вариантов автоматизации еще до их внедрения в эксплуатацию .

Эффективность систем АСП зависит от конкретных условий их эксплуатации и поэтому в конструкциях систем обычно предусматривается возможность регулирования отдельных параметров этих систем при их настройке в конкретных условиях. Естественно, что каждая из внедряемых систем АСП должна настраиваться таким образом, чтобы при этом обеспечивалась максимальная эффективность всего сортировочного комплекса . Следовательно, количественная оценка эффективности систем АСП необходима и для оптимальной настройки этих систем при их внедрении.

Наконец, задача количественной оценки эффективности возникает при разработке новых систем АСП, поскольку высокая стоимость создания современных систем автоматизации требует получения достоверной информации об их возможных свойствах и ожидаемой эффективности уже на стадии проектирования .

Таким образом, задача определения количественных оценок эффективности систем АСП является весьма важной и достаточно

актуальной.

Проблемам повышения эффективности сортировочного процесса, совершенствования методов эксплуатации сортировочных горок, механизации и автоматизации их работы уделяется в настоящее время большое внимание. Этим вопросам посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных ученых, благодаря которым достаточно глубоко разработаны теория и методы управления сортировочным процессом. Значительному повышению эффективности сортировочных горок опосредуют системы автоматизации сортировочного процесса, созданные коллективами Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ЦНИИ МПС), института «Гипротраносигналовязь» и Уральского отделения ЦНИИ МПС. Указанные системы в настоящее время успешно внедряются на крупнейших станциях сети дорог СССР.

Большой вклад в развитие и совершенствование методов эксплуатации механизированных и автоматизированных сортировочных горок внесли коллективы станций Люблино, Ленинград Сортировочный-Московский, Лоолинская, Орехово-Зуево, Нижнеднепровск-Узел и других.

Следует заметить, однако, что до настоящего времени задача определения количественной оценки эффективности сортировочных комплексов и локальных систем АСУ, с учетом их взаимодействия в условиях случайного характера потока отцепов и других влияющих факторов еще не решена. Решение этой задачи было практически неосуществимо до начала широкого внедрения ЭЦМ в практику научных исследований, поскольку оно может быть исполнено только на основе моделирования сортировочного процесса.

В настоящее время, когда методы математического моделиро-

вания сложных систем и электронные вычислительные машины получили достаточно широкое распространение, появилась возможность решения указанной задачи, используя и обобщая опыт исследования отдельных элементов сортировочного процесса, накопленный отечественными и зарубежными учеными. Учитывая важность и актуальность данной задачи, настоящая диссертационная работа посвящена разработке единого подхода к определению количественной оценки эффективности различных систем АСП путем моделирования работы сортировочного комплекса, в состав которого входят исследуемые системы. Для решения этой задачи в диссертации рассмотрены следующие вопросы

а) выбор и порядок определения критерия эффективности ;

б) моделирование на ЭЦВМ процесса скатывания отдельных отцепов с горки ;

в) моделирование на ЭЦВМ сортировочного процесса в условиях действия различных систем АСП и на механизированных горках .

Выполненные исследования позволили разработать методику оценки эффективности систем АСП, порядок применения которой показан на примере решения задачи выбора оптимального режима функционирования системы АЗСР ЦНИИ в условиях конкретного сортировочного комплекса. С этой целью в диссертации выполнены

а) экспериментальные исследования сортировочного комплекса ст. Нижнеднепровск-Узел Приднепровской ж.д. , оборудованного системой АЗСР ЦНИИ ;

б) моделирование сортировочного процесса на ЭЦВМ и исследование зависимости критерия эффективности комплекса от регулируемых параметров системы АЗСР ЦНИИ ;

в) определение оптимальных значений регулируемых параметров системы АЗСР ЦНИИ в условиях данного комплекса .

В первой главе диссертации выполнен анализ существующих способов оценки эффективности сортировочных комплексов и методов моделирования сортировочного процесса на ЭЦМ .

Вопросам исследования сортировочных горок посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных ученых, в большинстве из которых в качестве критерия эффективности используется перерабатывающая способность горки или ее составляющие - скорость или время роспуска. Иногда в качестве критерия эффективности сортировочного комплекса используется его часовая производительность (интенсивность роспуска). Эта величина более удобна для оценки эффективности, так как она выражается только через те величины, которые непосредственно зависят от конструкции, структуры и качества функционирования исследуемого комплекса:

$$N = \frac{60 m}{t_p + t_u} \quad , \quad (I)$$

где  $m$  - состав поезда ;

$t_p$  - продолжительность роспуска ;

$t_u$  - интервал между роспусками .

Следует заметить, что при существующих способах определения производительности горок не учитываются потери, возникающие вследствие возможных нагонов отцепов на стрелках. Этот недостаток приводит к различиям между расчетной и фактической производительностью и, кроме того, не позволяет определить производительность комплекса, в состав которого входят устройства задания и реализации скорости роспуска ( АЗСР, ТГЛ ) .

Одним из основных факторов, влияющих на производительность сортировочного комплекса, является средняя продолжительность отпуска (скорость отпуска) и поэтому большинство авторов обычно уделяет основное внимание расчету этих параметров. В диссертационной работе рассмотрен ряд способов расчета средней скорости и продолжительности отпуска составов, предложенных различными авторами, отмечены их достоинства и недостатки. Одним из основных недостатков большинства рассмотренных способов является отсутствие системного подхода к исследованию сортировочного процесса и отдельных его элементов, а также недостаточно полный учет структуры, особенностей и алгоритма управления сортировочным комплексом. Для устранения указанных недостатков необходимо при исследованиях рассматривать процесс функционирования сортировочного комплекса с учетом взаимодействия всех его элементов. Как показывает опыт исследования сложных систем, к числу которых может быть отнесен и сортировочный комплекс, подобные исследования наиболее целесообразно проводить путем моделирования работы комплекса на ЭЦМ. Учитывая это, в диссертации рассмотрены методы моделирования сортировочного процесса и отдельных элементов на ЭЦМ.

Одним из основных элементов всего сортировочного процесса является процесс формирования отцепов на пути сортировочного парка и поэтому в диссертации рассмотрен ряд существующих способов моделирования движения отцепов. Анализ указанных способов показал, что ни один из них не удовлетворяет полностью перечисленным ниже требованиям:

- адекватность реальному процессу;

- универсальность (возможность моделирования скатывания отцепов различной длины и веса, при различной конструкции горки и замедлителей тормозных позиций) ;

- экономичность по времени выполнения расчетов и объему потребной оперативной памяти ЭЦВМ ;

- блочность структуры

Учитывая необходимость моделирования процесса скатывания при исследованиях сортировочных комплексов любой структуры, в диссертации был сделан вывод о целесообразности разработки алгоритма, который бы отвечал сформулированным требованиям.

Этому посвящена третья глава диссертации .

Обзор работ, посвященных моделированию работы всего сортировочного комплекса на ЭЦВМ, показал, что методика моделирования в настоящее время разработана еще недостаточно; кроме того, мало внимания уделяется вопросам алгоритмизации и моделирования процессов функционирования локальных систем АСП. Учитывая важность этих вопросов для решения поставленной задачи, в диссертации им посвящается отдельная глава .

Вторая глава посвящена вопросам выбора критерия эффективности систем АСП, а также методам его определения по результатам моделирования сортировочного процесса на ЭЦВМ .

Основной принцип, положенный в основу определения оценок эффективности локальных систем АСП, заключается в том, что эффективность этих систем определяется с учетом их взаимодействия с остальными техническими средствами, входящими в состав сортировочного комплекса. При таком подходе в качестве оценки эффективности исследуемой системы используется соответствующая оценка сортировочного комплекса в целом. Это позволяет

полученных оценок принимать решения, способствующие повышению эффективности всего сортировочного комплекса и, кроме того, дает возможность построения единой методики оценки, не зависящей от структуры и назначения исследуемых локальных систем АСП .

Выбор критерия эффективности для решения конкретной задачи в значительной мере определяется ее постановкой. В диссертации рассматривается три типа общей постановки задач о принятии решений при наличии дисциплинирующего условия - либо в виде материальных затрат ( критерий - конечный результат), либо в виде конечного результата (критерий - материальные затраты), а также при отсутствии дисциплинирующих условий. В последнем случае формальный выбор оптимального решения на основе двух указанных противоречивых показателей - материальных затрат и конечного результата - невозможен, однако знание этих показателей и их последующий анализ могут оказаться весьма полезными при принятии решения о выборе того или иного варианта .

Таким образом, можно рекомендовать в качестве критерия эффективности для решения задач в первой постановке стоимость создания и эксплуатации сортировочного комплекса, а во второй постановке - производительность комплекса. Кроме того, определение стоимости и производительности комплекса является целесообразным и для решения задач при отсутствии дисциплинирующих условий .

Стоимость создания и эксплуатации сортировочного комплекса является детерминированной величиной и поэтому она может быть определена относительно просто . В то же время производитель-

ность комплекса является некоторым функционалом всего сортировочного процесса, который, как известно, протекает в условиях действия целого ряда случайных факторов, в силу чего упомянутый функционал является также случайной величиной. В этой связи в качестве критерия эффективности должно быть принято математическое ожидание производительности комплекса, определенное на некотором множестве реализаций сортировочного процесса. Учитывая сложность последней задачи, в диссертации основное внимание уделяется вопросам определения производительности сортировочных комплексов.

Определение производительности сортировочного комплекса возможно либо путем обработки данных натурального эксперимента, либо путем моделирования его работы на ЭЦВМ. С учетом опыта работы горочно-испытательной лаборатории ДИИТа был сделан вывод о том, что для исследования функционирующих систем АСП целесообразно сочетание экспериментальных методов с моделированием их работы на ЭЦВМ. В случае же необходимости оценки эффективности проектируемых систем АСП метод моделирования является единственно возможным.

В диссертационной работе рассматриваются два подхода к определению производительности сортировочного комплекса :

а) определение производительности при расчетной скорости роспуска, когда случаи неразделения отцепов отсутствуют даже при наиболее неблагоприятных сочетаниях их параметров и потерь в работе систем АСП ;

б) определение производительности при реальной скорости роспуска с учетом возможных потерь от повторной сортировки вагонов, возникающей при неразделении отцепов на стрелках

Второй подход, в отличие от общеизвестного первого, позволяет получать результаты более близкие к действительной эффективности исследуемого комплекса и, кроме того, он наиболее удобен в случае, если в состав комплекса входят устройства задания скорости роспуска (АЭСР), или ее реализации (ТГИ). При таком подходе производительность комплекса может быть определена по формуле, аналогичной одной из тех, которые используются для определения перерабатывающей способности горок при параллельном роспуске

$$N = \frac{60}{\frac{l}{60 \bar{V}_0} + \frac{t_u}{m} + \frac{t_n}{m_n}}, \quad (2)$$

где

$l$  - длина условного вагона ;

$m_n$  - средний состав одной группы вагонов, сортируемых повторно ;

$t_n$  - время на повторную сортировку одной группы вагонов .

В приведенном выражении особую сложность для определения представляют средняя скорость роспуска  $\bar{V}_0$  и коэффициент повторной сортировки вагонов  $\mathcal{L}$ , которые представляют собой математические ожидания соответствующих функционалов

$$V_0 = M[\varphi(t)] \quad \text{и} \quad \mathcal{L} = M[\varphi_1(t)].$$

Во второй главе рассматриваются способы определения указанных функционалов по результатам моделирования работы исследуемого сортировочного комплекса на ЭЦВМ .

Средняя скорость роспуска составов может быть установлена на основании множества  $n$  значений для отцепов  $l_{отц_i}$  точек отрыва  $S_{0_i}$  и интервалов  $t_{0_i}$  между смежными отцепами на вершине горки ( $\bar{V}_0 = V(l_{отц_i}, S_{0_i}, t_{0_i})$ ), где  $i = 1, 2, \dots, n$ ), которые определяются в процессе моделиро-

вания отпуска требуемого числа составов .

Величина коэффициента повторной сортировки вагонов  $L$  может быть найдена как отношение объема повторной сортировки вагонов, образующейся вследствие вагонов отцепов, ко всему объему переработанных вагонов за некоторый достаточно большой промежуток времени. Однако, данный способ практически неприемлем, т.к. для точного определения объема повторной сортировки необходимо моделировать работу всей сортировочной станции. Поэтому в диссертации была получена с помощью методов комбинаторики аналитическая зависимость  $L = \Psi(N_{cn}, M, \theta)$  , которая позволяет приближенно оценить величину коэффициента повторной сортировки вагонов по числу путей в сортировочном парке  $N_{cn}$  среднему числу отцепов в расформируемых составах  $M$  , а также по вероятности неразделения пары смежных отцепов на стрелках  $\theta$

Следует отметить, что вероятность неразделения отцепов  $\theta$  определяется процессом функционирования всего сортировочного комплекса. Получить аналитическую зависимость вероятности  $\theta$  от всех влияющих факторов не представляется возможным и поэтому в диссертации разработаны способы ее определения по результатам моделирования сортировочного процесса .

Для определения указанной вероятности при моделировании рассматриваются условия разделения каждой пары смежных отцепов состава, для чего определяется интервал времени  $\delta t$  между последовательными занятиями разделительной стрелки данной парой отцепов

$$\delta t = t_0 + t_m^{\partial a} - t_m^{3a}, \quad (3)$$

где  $t_0$  - начальный интервал ;  
 $t_m^{за}$  ,  $t_{m+1}^{до}$  - время движения соответственно  $m$ - того  
отцепа за , и  $(m+1)$  -го отцепа до стрелки  
разделения .

Тогда условия успешного разделения отцепов можно записать как  
 $\delta t \geq 0$ ; в противном случае ( $\delta t < 0$ ) происходит нагон от-  
цепов .

В диссертации показано, что событие, состоявшее в появлении  
отрицательного значения  $\delta t$  (нагон) можно считать случай-  
ным событием, а величину  $\delta t$  - случайной величиной. В силу  
этого вероятность  $\theta$  может быть определена двумя спосо-  
бами : по относительной частоте появления нагонов и по вероят-  
ности непревышения случайной величиной  $\delta t$  значения  
 $\delta t = 0$

Первый способ, который основан на применении центральной  
предельной теоремы теории вероятностей, отличается значитель-  
ной простотой и сводится к подсчету количества отрицательных  
значений  $\delta t$  в исследуемой выборке . Недостатком этого  
способа является относительно большой потребный объем выбор-  
ки для получения вероятности  $\theta$  с достаточной точностью  
и достоверностью .

Второй способ состоит в том, что на основании имеющейся  
выборки значений величины  $\delta t$  устанавливают интегральную  
кривую распределения  $F(\delta t)$  . При этом искомая вероятность  
определится как

$$\theta = 1 - F(\delta t > 0). \quad (1)$$

Второй способ вычисления  $\theta$  более сложный и трудо-  
емкий, чем первый, однако , как показали исследования, в этом  
случае требуется примерно в два раза меньшее количество реал-

заций сортировочного процесса .Поэтому выбор способа распределения вероятности  $\theta$  производится в каждом конкретном случае с учетом перечисленных преимуществ и недостатков обеих способов.

В заключение необходимо отметить, что в целях облегчения вычислений, связанных с определением вероятности  $\theta$  по второму способу, был разработан комплекс программ для ЭЦВМ "Наири" , которые позволяют автоматизировать процесс вычислений на всех его этапах .

Третья глава посвящена исследованию и алгоритмизации процесса скатывания отцепов с горки .

Сортировочная горка и скатывающийся отцеп представляют собой динамическую систему ; эту систему характеризуют координаты состояния - положение отцепа (первой оси) относительно вершины горки  $S_j$  , скорость  $V_j$  и время движения от момента отрыва  $T_j$  .Указанные координаты в процессе скатывания меняются непрерывно, что создает неудобства при моделировании процесса на цифровых ЭВМ .Поэтому в диссертации скатывание отцепа рассматривается как дискретный процесс, состоящий из множества последовательных элементарных перемещений в направлении движения .В этом случае непрерывная сила  $F = \Psi(S)$  , действующая на отцеп, заменяется некоторой кусочно-постоянной силой  $F = \Psi^*(S)$  , дискретно изменяются и координаты состояния системы  $S_j$   $V_j$  и  $T_j$

Очевидно, что принятое допущение влияет на точность моделирования процесса , и тем сильнее, чем больше шаг перемещения  $\Delta S$  .Следует заметить, однако, что применение для моделирования ЭЦВМ позволяет в принципе выбрать шаг сколь угодно малым

и тем самым практически исключить указанную погрешность.

Свободное скатывание отцепов начинается от момента отрыва их от состава. Координаты состояния системы «горка-отцеп» в этот момент представляют собой некоторые начальные условия

$$S_0, V_0, T_0$$

Таким образом, модель процесса скатывания должна включать алгоритм поиска начальных координат  $S_0, V_0, T_0$ , а также алгоритм определения результирующей управляемых и неуправляемых сил  $F = \Psi^*(S)$ , действующей на отцеп на элементарном перемещении  $\Delta S$  и алгоритм корректирования координат состояния системы  $S_j, V_j$  и  $T_j$  после очередного перемещения. Кроме того, для моделирования должны быть предварительно разработаны модели отцепа и сортировочной горки.

В качестве модели отцепа в диссертации принята система шарнирно соединенных материальных точек, расстояния между которыми равны расстояниям между соответствующими осями отцепа, а масса, сосредоточенная в каждой точке, равна нагрузке на ось отцепа (осевая модель). В качестве исходной информации для построения модели отцепа служит вес  $P_i$ , количество осей  $M_i$ , тип  $f_i$  и удельное основное сопротивление  $W_{0i}$  каждого вагона в этом отцепе. Модель содержит следующие данные об отцепе: удельную нагрузку на каждую ось отцепа  $q_i$ , удельное основное сопротивление отцепа  $W_0$ , коэффициент, учитывающий сопротивление среды и ветра  $K_{ср}$ , ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся масс  $g'$ , а также параметры положения каждой оси отцепа на горке - условный номер занимаемого элемента профиля  $\Delta_n$  и расстояние до ближайшего впереди-лежащего перелома профиля  $\Delta_n$

Разработанная осевая модель отцепа позволяет наиболее полно отразить реальный процесс скатывания отцепов, а применение ЭЦМ дает возможность использовать ее при массовых расчетах, несмотря на значительный потребный объем вычислений.

Модель сортировочной горки представляет собой совокупность оведаний, необходимых для моделирования процесса скатывания. Эти сведения можно разбить на три группы: данные о профиле горки, о тормозных позициях и о размещении на горке характерных (контрольных) точек.

Данные о профиле горки представляют в виде последовательности значений длин элементов и их уклонов. Кусочно-линейная аппроксимация вертикальных круговых кривых приводит к погрешностям моделирования движения отцепов и поэтому в диссертации выполнено исследование влияния длины аппроксимирующих элементов на точность моделирования при различных условиях. Полученные результаты позволяют обоснованно производить аппроксимацию профиля горки.

Представление данных о тормозных позициях - рабочих для замедлителей и их тормозных мощностей - зачисл от принятого способа моделирования торможения отцепов, а также от типа замедлителей (весовые, нажимные).

В диссертации показано несовершенство общепринятого способа моделирования торможения, при котором предполагается, что в зоне действия тормозных позиций отцепы испытывают сопротивление, постоянное на всей длине зоны. Кроме того, исследования показали, что кривые скорости отцепов, особенно неоднородных, при их движении по весовым и нажимным замедлителям имеют существенное различие. В этой связи были разработаны способы моделирования тор-

можения отцепов замедлителями обеих типов.

Величина удельной тормозной силы, действующей на отцеп в зоне действия тормозных позиций, равна :

а) для нажимных замедлителей

$$W_T = \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j \omega_k, \quad \omega_k = \begin{cases} \frac{h_T}{l_T} & \text{при } S_k \in (S_{\text{вх}}, S_{\text{вых}}) \\ 0 & \text{при } S_k \notin (S_{\text{вх}}, S_{\text{вых}}) \end{cases} \quad (5)$$

б) для весовых замедлителей

$$W_T = \sum_{k=1}^j \omega_k \cdot q_k, \quad \omega_k = \begin{cases} \frac{h_T}{l_T} & \text{при } S_k \in (S_{\text{вх}}, S_{\text{вых}}) \\ 0 & \text{при } S_k \notin (S_{\text{вх}}, S_{\text{вых}}) \end{cases}$$

Здесь  $\omega_k$  - удельная тормозная сила, действующая на  $k$ -тую ось отцепа ;

$j$  - число осей отцепа ;

$q_k$  - удельная нагрузка на ось ;

$S_k$  - координата  $k$ -той оси ;

$S_{\text{вх}}, S_{\text{вых}}$  - координаты соответственно начала и конца замедлителя ;

$h_T$  - энергетическая высота, поглащаемая замедлителем, либо его тормозная мощность ;

$l_T$  - рабочая длина замедлителя .

В соответствии с разработанными способами вычисления удельной тормозной силы и эквивалентного уклона, по которому движется центр тяжести отцепа на элементарном перемещении (удельная движущая сила), приняты и способы представления данных о тормозных позициях . При этом, на участках с весовыми замедлителями действительные уклоны профиля  $i_g$  заменяют фиктивными  $i_{\text{ф}} = i_g - h_T/l_T$  . Если же горка оборудована нажимными замедлителями, то для моделирования торможения отцепа необходимо одновременно рассматривать его движение по действительному профилю

$i_g$  и по фиктивному тормозному профилю, который составлен

из уклонов  $i_r = -h_r/l_r$  на замедлителях и  $i_r = 0$  на остальных участках .

В качестве иллюстрации преимущества предложенного способа моделирования торможения в диссертации произведено сравнение теоретических кривых скорости, полученных разными способами, с экспериментальными, записанными с помощью телеизмерительной аппаратуры системы ДИИТа. Указанное сравнение, выполненное для различных отцепов, в том числе и для неоднородных, позволяет сделать вывод об адекватности предложенной модели реальному процессу .

Контрольные точки на пути скатывания отцепа (например, точки входа и выхода при прохождении отцепа по замедлителям, стрелкам) задаются для того, чтобы при моделировании скатывания в этих точках определять координаты состояния системы "горка-отцеп". В диссертации разработан алгоритм определения координат контрольных точек и формирования их в равнинированный ряд .

Моделирование скатывания отцепа обычно производится с момента его отрыва от состава, поэтому алгоритм моделирования начинается с определения положения отцепа в этот момент. Указанное положение определяется равенством движущих сил и сил сопротивления, действующих на отцеп. Определение точки отрыва

$S_0$  осуществляется итерационным методом ; кроме координаты  $S_0$  в момент отрыва фиксируются параметры положения всех осей отцепа, которые в дальнейшем корректируются по мере его движения .

Моделирование элементарного перемещения отцепа можно разделить на три этапа :

а) вычисление эквивалентного уклона  $i$  , по которому

движется центр тяжести отцепа на участке  $\Delta S$

б) корректирование параметров положения осей отцепа ;

в) изменение координат состояния системы  $S_j$ ,  $V_j$  и  $T_j$ .

В диссертации разработана алгоритм вычисления уклона  $\bar{i}$  при осевой модели отцепа с учетом торможения этого отцепа замедлителями любых типов

$$\bar{i} = \sum_i^n q_i \cdot \frac{\sum_{1+\sum M_i}^i M_i \bar{i}_K}{1+\sum M_i} - \frac{1}{g} \sum_i W_K, \quad (6)$$

где  $\bar{i}_K$  - уклон, по которому движется  $K$ -тая ось отцепа на участке  $\Delta S$   
 $n$  - число вагонов в отцепе ;  
 $M_i$  - число осей в  $i$ -том вагоне

При этом для весовых замедлителей второй член данного выражения обращается в нуль, т.к. в этом случае фиктивный тормозной профиль состоит только из нулевых уклонов ; тормозная сила в этом случае входит в уклон  $\bar{i}_K$

Корректирование координат состояния системы осуществляется путем решения дифференциального уравнения движения, преобразованного для удобства к известному рекуррентному алгебраическому выражению :

$$V_{j+1} = \sqrt{V_j^2 + 2g' \cdot \Delta S (i - w_0 - K_{cr} (V_j + \bar{V}_{вет}))} \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где  $V_j$ ,  $V_{j+1}$  - скорости отцепа соответственно в начале и в конце участка  $\Delta S$   
 $\bar{V}_{вет}$  - скорость ветра .

Время движения отцепа на участке  $\Delta S$  определяется по его средней скорости .

В заключение необходимо отметить, что алгоритмы отдельных элементов процесса скатывания, разработанные в третьей главе диссертация, были реализованы на ЭЦМ „Урал-3” в виде специальной библиотеки программы. Все программы библиотеки составлены в соответствии с требованиями систем автоматизации программирования, что значительно облегчает и упрощает их использование.

В четвертой главе рассматриваются вопросы моделирования работы сортировочных комплексов и локальных систем АСЦ.

Для исследования процесса функционирования сортировочного комплекса определенной структуры необходимо синтезировать некоторый моделирующий алгоритм, который бы имитировал работу и взаимодействие отдельных элементов комплекса с учетом случайного характера потока отцепов и других влияющих факторов.

Математическая модель процесса функционирования сортировочного комплекса может быть представлена в виде совокупности уравнений и логических условий, определяющих характеристики состояния системы в произвольный момент времени :

$$\left. \begin{aligned} \Psi_1(s) &= \Psi_1(L_1, L_2, \dots, L_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, A_1, A_2, \dots, A_p, t) \\ \Psi_2(s) &= \Psi_2(L_1, L_2, \dots, L_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, A_1, A_2, \dots, A_p, t) \\ &\vdots \\ \Psi_m(s) &= \Psi_m(L_1, L_2, \dots, L_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, A_1, A_2, \dots, A_p, t) \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

где  $\Psi_i(s)$  -  $i$ -тая характеристика состояния комплекса ;

$L$  - вектор параметров комплекса ;

$\beta$  - вектор входящих неуправляемых переменных ;

$A$  - вектор управляющих воздействий ;

$t$  - время

Выбор характеристик  $\Psi_i(s)$  зависит от структуры исследуемого комплекса, целей исследования и ряда других факторов и определяется отдельно в каждом конкретном случае.

Для упрощения синтеза моделирующего алгоритма весь сортировочный процесс может быть разделен на ряд элементарных процессов  $Z_j$  ( $j=1, 2, \dots, l$ ), математическое описание которых может быть выполнено с помощью соотношений, аналогичных (8), но менее громоздких и более удобных для реализации. При этом совокупность моделей отдельных процессов необходимо дополнить соотношениями, связывающими характеристики этих процессов  $Z_j$  с характеристиками состояния всего сортировочного комплекса  $\Psi_i(s)$ . Такой подход позволяет исследовать комплексом различных структур, пользуясь уже имеющимися моделями элементарных процессов, что значительно упрощает и облегчает исследование. В диссертации рассматриваются следующие элементарные процессы:

- процесс задания скорости роспуска системой АЭСР ЦНИИ;
- процесс реализации заданной скорости роспуска;
- процесс функционирования системы АРС ГТСС;
- процесс роспуска составов на механизированной горке.

Алгоритм функционирования системы АЭСР ЦНИИ разработан на основе анализа и формализации процесса ее работы с учетом надвига составов и скатывания отцепов в зоне действия напольных устройств системы. Разработанный алгоритм позволяет моделировать процесс задания скорости роспуска с учетом запаздывания реакции системы на отрыв отцепов от состава.

Моделирование надвига составов осуществляется в диссертации только на уровне проверки возможности реализации горочным локомотивом задаваемой скорости роспуска, поскольку характер

управления локомотивом при отсутствии системы ТТД не может быть определен однозначно. Поэтому моделирование движения состава производится при максимально возможных значениях тяговых и тормозных усилий локомотива, определяемых в соответствии с ПТР. В диссертационной работе разработано математическое описание процесса движения составов, которое было положено в основу алгоритма моделирования надвига. При этом отдельно рассматриваются случаи движения состава при разгоне, при замедлении и при постоянной скорости. Моделирование надвига осуществляется одновременно со скатыванием отделившегося отцепов, что позволит учитывать ограничения интенсивности разгона по условию нагона составом очередного отделившегося отцепа. В результате моделирования те скорости, которые не могут быть реализованы в процессе роспуска, корректируются.

Основное назначение моделирования процесса роспуска, который является заключительным этапом моделирования работы комплекса, состоит в проверке условий разделения отцепов на стрелках. В диссертации рассматриваются два подхода к решению этого вопроса :

- а) скатывание каждого отцепа производится при заданной начальной скорости ; при этом фиксируется интервал  $\delta t$  на стрелке разделения с предыдущим отцепом ;
- б) для каждого отцепа определяется такая начальная скорость, при которой выполняется условие  $0 \leq \delta t \leq \epsilon$  ; здесь  $\epsilon$  - заданная точность регулирования интервала  $\delta t$ .

Характер регулирования скорости отцепов при моделировании определяется существующей системой управления тормозными позициями .

На автоматизированных горках система АРС для каждого отцепа на основании его параметров однозначно определяет программу скатывания, что позволяет адекватно моделировать процесс торможения отцепов по заданным скоростям выхода отцепов из тормозных позиций .

На неавтоматизированных горках степень торможения отцепов определяется оператором на основании субъективной оценки влияющих факторов. В этих условиях удобнее моделировать процесс торможения путем задания энергетической высоты, погашение которой обеспечит отцепу необходимую скорость в точке прицеливания. При распределении указанной энергетической высоты между первой и второй тормозными пружинами для определенности были приняты три основных режима торможения, различных по условиям разделения отцепов :

а) неблагоприятный, когда первый из смежных отцепов максимально тормозится на первой тормозной позиции, а следующий за ним - на второй ;

б) благоприятный, когда первый отцеп максимально тормозится на второй позиции, а следующий за ним - на первой ;

в) средний , когда оба отцепа тормозятся на обеих позициях равномерно .

Такой подход позволяет охватить все возможные режимы торможения и, следовательно, сделать достаточно надежные выводы об условиях разделения отцепов на неавтоматизированных горках .

В диссертационной работе сформулированы также основные принципы моделирования систем АРС, которые были использованы при разработке алгоритма функционирования системы АРС ИТСС. Указанный алгоритм позволяет исследовать процесс функциониро-

вания автоматизированного сортировочного комплекса как при постоянной, так и при переменной скорости роспуска составов. Для учета возможных погрешностей в реализации скоростей выхода отцепов из тормозных позиций при моделировании системы АРС в программу работы позиций могут вводиться случайные погрешности в соответствии с заданным законом распределения.

В заключение необходимо отметить, что указанные алгоритмы функционирования систем АЗСР ЦНИИ, АРС ГТСС, неавтоматизированной горки, а также алгоритм процесса надвига были реализованы на ЭЦМ "Урал-3". При моделировании использовалась разработанная библиотека программ, моделирующих процесс скатывания отцепов. В приложении к диссертации приведены примеры моделирования роспуска составов с использованием указанных программ.

Пятая глава посвящена экспериментальным исследованиям сортировочного комплекса и локальных систем АСП, входящих в его состав.

В диссертационной работе приведены методика и результаты исследований комплекса ст. Нижнеднепровск-Узел, которые были выполнены горочно-испытательной лабораторией ДИИТа при участии автора. Экспериментальные исследования проводились с целью установления динамических характеристик горки, исследования режимов скатывания отдельных отцепов, а также условий работы системы АЗСР ЦНИИ, входящей в состав данного комплекса. В результате исследований были установлены основные технико-эксплуатационные характеристики системы АЗСР и намечены пути оптимизации режима ее функционирования.

Предварительно были произведены стендовые испытания от-

дельных блоков системы АЗСР ЦНИИ, в результате которых для каждой отрезочной позиции были установлены зависимости скорости отцепов от их длины  $V_c = f(l_{отч})$ , реализованные в системе .

Экспериментальные исследования работы комплекса производились при роспуске составов, поступающих в расформирование ; при этом все основные процессы фиксировались на осциллограммы. В диссертации приводится порядок и схемы подключения измерительных датчиков, а также наполных устройств и отдельных блоков системы АЗСР к осциллографу ОС-60 .

Данные, полученные в результате выполненных экспериментов, были использованы для исследования основных зависимых переменных в системе АЗСР ЦНИИ - минимальной скорости отцепов на отрезках  $V_c$  и "дифа"  $\Delta t$  , а также для исследования точности реализации задаваемой скорости роспуска и чувствительности системы на отрыв отцепов .

Зависимые переменные  $V_c$  и  $\Delta t$  , которые входят в основное уравнение системы АЗСР ЦНИИ, могут определяться системой только на основании известных до роспуска данных о количестве вагонов в отцепках и маршрутах их следования. Очевидно, что такой прогноз величин  $V_c$  и  $\Delta t$  является весьма приближенным ; то же относится и к вычисленной с их участием скорости роспуска  $V_p$  . Поэтому указанные величины должны устанавливаться таким образом, чтобы гарантировать разделение смежных отцепов даже при неблагоприятном сочетании их параметров. Следовательно, выбор значений переменных  $V_c$  и  $\Delta t$  определяет качество функционирования всего сортировочного комплекса и уровень его производительности. Поэтому в диссертации

ции были установлены фактические соотношения между независимыми переменными (длины отцепов, стрелки их разделения) и зависимыми  $V_c$  и  $\Delta t$ , а также выполнено сравнение этих соотношений с реализованными в системе АЭСР. Оказалось, что зависимость минимальной скорости отцепов на стрелках от длины отцепов  $V_{min} = f(l_{отц})$  с достаточной точностью может быть описана линейным уравнением, что соответствует решению, принятому в системе. При этом реализованные в системе зависимости  $V_{min} = f(l_{отц})$  оказались достаточно близки фактическим на пучковых стрелочных позициях, и менее близки на головной позиции.

В качестве другой зависимой переменной в системе АЭСР ЦНИИ выступает произведение  $\Delta t \cdot V_c$ , величина которого принята в системе постоянной отдельно для головных и пучковых стрелок. Для сравнения принятых величин  $\Delta t \cdot V_c$  с фактическими в диссертации были исследованы распределения произведений  $\Delta t \cdot V_c$  на каждой стрелочной позиции. Установлено, что эти распределения подчиняются нормальному закону и поэтому в качестве расчетных значений  $\Delta t \cdot V_c$  были вычислены верхние толерантные пределы соответствующих распределений. Оказалось, что найденные расчетные значения, как правило, несколько выше реализованных в системе.

Таким образом, реализованные в системе АЭСР ЦНИИ значения параметров  $V_c$  и  $\Delta t \cdot V_c$  в целом близки соответствующим экспериментальным значениям, что, однако, еще не свидетельствует об их оптимальности. Следует отметить, что определение оптимальных расчетных значений параметров  $V_c$  и  $\Delta t \cdot V_c$ , которые бы обеспечили оптимальную по производительности комплекса задаваемую скорость роспуска, целесообразно производить путем

моделирования работы комплекса на ЭЦМ, так как решение этой задачи экспериментальным путем потребовало бы проведения значительного количества дорогостоящих экспериментов в условиях интенсивной эксплуатации сортировочной горки .

Существенным фактором, определяющим качество работы сортировочного комплекса является точность реализации задаваемой скорости роспуска. Учитывая это, в диссертации была выполнена оценка указанной точности, а также исследованы отдельные влияющие на нее факторы .

Среднее значение относительной погрешности реализации задаваемой скорости роспуска за период испытаний составило 9,6 %. Это свидетельствует о достаточно точной реализации скорости в целом, однако указанный показатель не отражает близости заданных и фактических начальных скоростей каждого отцепа в составе. Поэтому дополнительно точность реализации оценивалась с помощью среднеквадратической ошибки :

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{zi} - V_{\varphi i})^2}{n}} , \quad (9)$$

где  $V_{zi} \cdot V_{\varphi i}$  - соответственно заданная и фактическая начальные скорости  $i$ -того отцепа ;

$n$  - число отцепов в составе

Средняя величина указанной ошибки составила 0,35 м/сек .

Одной из возможных причин погрешности реализации скорости является запаздывание момента задания скорости по отношению к моменту отрыва очередного отцепа. Установлено, что указанное время складывается из двух элементов: запаздывания реакции системы на отрыв отцепов  $\tau_0$  и времени срабатывания решающих элементов системы АЗСР  $\tau_c$  . Величина  $\tau_c$  является

практически постоянной ( $\bar{\tau}_c = 2,7$  сек,  $\gamma = 4,1\%$ ), тогда как вторая составляющая  $\bar{\tau}_o$  имеет значительное рассеяние ( $\bar{\tau}_o = 4,7$  сек,  $\gamma = 52,2\%$ ).

Величина  $\bar{\tau}_o$  определяется условиями движения надвигаемого состава и очередного отцепа и в значительной мере зависит от чувствительности системы на отрыв отцепов.

Чувствительность системы (разность скоростей состава и отцепа, при которой система реагирует на отрыв последнего) составила  $0,72$  м/сек, при величине упреждения, устанавливаемого на скоростемере скатывания для повышения чувствительности,  $0,58$  м/сек.

Учитывая высокую стабильность чувствительности ( $\gamma = 8,4\%$ ), в диссертации был сделан вывод о возможности повышения упреждения до  $1$  м/сек; при этом чувствительность системы будет не хуже  $0,3$  м/сек.

Шестая глава посвящена одной из возможных задач, решение которых может быть выполнено на основе принципов и рекомендаций, разработанных в диссертации. В данной главе была поставлена задача оптимизации режима работы конкретного сортировочного комплекса, оборудованного системой АЗСР ЦНИИ. Указанная система позволяет в процессе ее настройки в конкретных условиях регулировать скорость  $V_c$  путем изменения постоянной составляющей этой скорости  $V_n$ . В этой связи задача была сформулирована следующим образом найти оптимальные значения постоянных составляющих скорости  $V_n$  для каждой отрезочной позиции, которые бы обеспечили максимальную производительность всего сортировочного комплекса. Учитывая, что система АЗСР ЦНИИ получила в настоящее время достаточно широкое распространение,

такая постановка задачи является достаточно актуальной .

Решение данной задачи было выполнено в диссертации на основе моделирования роспуска реальных составов, выбранных случайным образом из числа наиболее характерных для данной горки. Оценка представительности выборки была выполнена по двум основным для системы АЗСР параметрам: длине отцепов и номеру разделительной стрелочной позиции. Количество составов  $M$  для моделирования было выбрано таким образом, чтобы получить результаты с точностью  $\epsilon = 2,5 \%$  и достоверностью  $P = 0,9 (M=5)$  .

Моделирование роспуска производилось при 20 различных комбинациях постоянных составляющих скорости  $V_n$  , устанавливаемых в системе АЗСР для первой и второй стрелочных позиций. Ввиду незначительного влияния на сортировочный процесс скоростей  $V_n$  , устанавливаемых для третьей и четвертой стрелочных позиций ( доля разделений отцепов на этих отрезках составляет 7,3 %), эти скорости не варьировались и были приняты минимальными из возможных .

Установлено, что качество функционирования сортировочного комплекса и, в частности, средняя скорость роспуска  $\bar{V}_0$  и вероятность неразделения отцепов  $\theta$  зависят от значений скорости  $V_n$  , установленных в системе АЗСР ЦНИИ для всех стрелочных позиций

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_0 &= f(V_{n_1}, V_{n_2}, \dots, V_{n_z}, \dots, V_{n_r}) \\ \theta &= \psi(V_{n_1}, V_{n_2}, \dots, V_{n_z}, \dots, V_{n_r}) \end{aligned} \right\} (10)$$

Более удобно, однако, представить совокупность скоростей  $V_n$  в виде некоторого обобщенного параметра  $\bar{V}_n$  , который выражается уравнением :

$$\bar{V}_n = \sum_{z=1}^{\gamma} \alpha_z \cdot V_{nz} , \quad (II)$$

где  $\alpha_z$  - частота разделений отцепов на данной стрелочной позиции ;

$\gamma$  - число стрелочных позиций .

Как показали исследования, выполненные по результатам моделирования работы комплекса , средняя скорость роспуска полностью определяется величиной параметра  $\bar{V}_n$  и практически не зависит от отдельных его составляющих  $V_{nz}$  . Установлено, что зависимость  $V_0 = f(\bar{V}_n)$  с достаточной точностью может быть описана линейным уравнением .

В отличие от скорости роспуска, вероятность неразделения отцепов  $\theta$  зависит не только от параметра  $\bar{V}_n$  , но и от отдельных его составляющих  $V_{nz}$  . Учитывая характер изменения функции  $\theta = \varphi(V_{nz})$ , в диссертации был сделан вывод о том, что при каждом значении параметра  $\bar{V}_n$  можно найти такую комбинацию составляющих  $V_{nz}$  , при которой вероятность  $\theta$  минимальна. Множество указанных комбинаций составляющих  $V_{nz}$  с различными значениями параметра  $\bar{V}_n$  характеризуют область оптимальных режимов функционирования системы АЗСР ЦНИИ в условиях конкретного комплекса. Очевидно, что искомая комбинация параметров  $V_{nz}$  , при которых обеспечивается максимальная производительность комплекса, находится внутри указанной области . Для установления этой области была исследована поверхность отклика  $\theta = \varphi(V_{n1}, V_{n2}, \dots, V_{n\gamma})$  , аппроксимированная полиномом второй степени. Оценка коэффициентов полинома выполнена с помощью регрессионного анализа . В результате исследования была получена искомая область  $V_{nz}^*$  ( $V_{nz}^* \in V_{nz}$ ) , а также зависимость  $\theta_{min} = \varphi(\bar{V}_n)$  в этой области .

Полученные таким образом выражения  $\bar{V}_0 = f(\bar{V}_n)$  и  $\theta_{min} = \psi(\bar{V}_n)$  позволили установить зависимость коэффициента повторной сортировки вагонов от средней скорости роспуска составов  $L = \psi(\bar{V}_0)$ . Указанная зависимость была использована для исследования влияния регулируемых параметров системы АЗСР ЦНИИ  $V_{n2}$  на производительность сортировочного комплекса и для определения оптимальных значений этих параметров. С этой целью в диссертации с помощью выражения (2) были построены кривые  $N = N(\bar{V}_0)$  при различных комбинациях значений  $t_u/m$  и  $t_n/m_n$ .

Последующий анализ показал, что кривые  $N = N(\bar{V}_0)$  имеют выраженный максимум при некоторой скорости роспуска  $\bar{V}_0^*$ , величина которой не зависит от величины интервала между роспусками  $t_u$  и незначительно зависит от времени на повторную сортировку вагонов  $t_n$ . Найденное таким образом значение средней скорости роспуска  $\bar{V}_0^*$ , при котором производительность комплекса максимальна, позволяет установить искомые оптимальные значения составляющих  $V_{n2}$  для каждой стрелочной позиции. При такой настройке системы АЗСР ЦНИИ средняя скорость роспуска  $\bar{V}_0$  составляет 1,74 м/сек, а вероятность неразделения отцепов  $\theta = 0,0028$ , что равнозначно риску появления одного нагона на 10 расформируемых составов; производительность комплекса при этом максимальна.

Если же настроить систему АЗСР таким образом, чтобы неразделений отцепов не было даже при наиболее неблагоприятных сочетаниях отцепов, то в этом случае средняя скорость роспуска уменьшится до 1,53 м/сек, а производительность — на 25–50 вагонов в час. Учитывая, что на большинстве горок сети повторная сортировка вагонов объективно существует, причем возникает она

по причинам, связанным не только с неразделенными отцепов, предложенная настройка системы АЗСР имеет прямой смысл. Действительно, весьма незначительный риск неразделения отцепов ( $\theta = 0,0028$ ) позволяет существенно повысить производительность комплекса .

Учитывая такую особенность оптимальной настройки системы АЗСР ЦНИИ, можно сделать вывод о целесообразности дополнения сортировочного комплекса контрольно-регистрающей системой, которая позволит фиксировать все случаи нагона отцепов и предотвратить возможность отправления вагонов не по назначению .

### Общие выводы

В результате выполненных в диссертации исследований установлено

1.Принятие оптимальных решений при разработке, проектировании, внедрении и настройке систем автоматизации сортировочного процесса (АСП) возможно на основе количественных оценок эффективности сравниваемых вариантов. В настоящее время, в связи с дальнейшим увеличением масштабов автоматизации сортировочного процесса, задача определения количественных оценок эффективности систем АСП приобретает особую важность и актуальность .

2.Выбор критерия эффективности систем АСП определяется постановкой задачи исследования, однако при любой постановке целесообразным является определение производительности сортировочного комплекса, которая представляет собой некторый

функционал от всего сортировочного процесса .

3. Основным недостатком существующих аналитических методов определения производительности горок является отсутствие системного подхода к исследованию сортировочного комплекса . Получение достоверной оценки производительности комплекса возможно на основе моделирования его работы на ЭЦМ с учетом взаимодействия всех элементов комплекса, а также с учетом случайного характера потока отцепов и других влияющих факторов.

4. Одним из основных элементов сортировочного процесса является скатывание отдельных отцепов с горки на пути сортировочного парка . Этот процесс рассматривается при исследовании сортировочных комплексов любой структуры и поэтому в диссертации разработаны общие принципы его алгоритмизации, а также алгоритмы всех элементов процесса скатывания и библиотека программ, которые позволяют моделировать скатывание отцепов с учетом их торможения замедлителями различных типов. Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными подтвердило адекватность разработанной модели реальному процессу скатывания .

5. Сортировочный процесс для удобства моделирования может быть разбит на отдельные элементы, из которых при необходимости может быть синтезирован алгоритм функционирования комплекса практически любой структуры. В диссертации разработаны цифровые модели отдельных элементов сортировочного процесса и локальных систем АСП ( АРС, АЗСР ), которые для решения конкретной задачи были реализованы на ЭЦМ «Урал-3» .

6. Для исследования сортировочных комплексов целесообразно сочетание методов моделирования с экспериментальными методами, в результате которых обычно получают необходимую для моделирования информацию и совершенствуют моделирующий алгоритм. В диссертации приведены методика и результаты экспериментальных исследований сортировочного комплекса станции Нижнеднепровск-Узел, в состав которого входит система АЗСР ЦНИИ. В результате анализа полученных данных были установлены основные технико-эксплуатационные параметры комплекса и системы, а также поставлена задача оптимизации режимов функционирования системы АЗСР ЦНИИ в составе данного комплекса. Был сделан вывод о целесообразности решения поставленной задачи путем моделирования работы комплекса на ЭЦВМ.

7. Решение задачи оптимизации настройки системы АЗСР ЦНИИ было выполнено на основе моделирования работы исследуемого сортировочного комплекса на ЭЦВМ. В качестве критерия эффективности была принята производительность комплекса, которая определялась в соответствии с разработанной методикой с учетом потерь от повторной сортировки вагонов, возникающей при возможных нагонах отцепов. В результате исследования были получены конкретные рекомендации по настройке системы АЗСР ЦНИИ, в результате внедрения которых производительность комплекса может быть повышена на 25-50 ваг/час.

8. Разработанная методика количественной оценки эффективности систем АСП и сортировочных комплексов может быть рекомендована проектным и конструкторским организациям при разработке новых и совершенствовании существующих систем автоматизации сортировочного процесса. Кроме того, эта методика может

быть полезна при внедрении и настройке существующих систем АСП в конкретных условиях .

9.Разработанная методика была использована горочно-испытательной лабораторией ДИИТа для теоретических исследований в области автоматизации сортировочного процесса и оценки эффективности различных систем АСП .

Основное содержание диссертации опубликовано в работах

- 1.Моделирование на ЭЦМ процесса скатывания отцепов с сортировочной горки . Труды ДИИТа , вып. 90/6 ,Днепропетровск, 1969 ( в соавторстве).
- 2.Программа моделирования процесса скатывания отцепов с сортировочной горки на ЭЦМ "Урал-3". Труды ДИИТа, вып.97,М. , "Транспорт", 1970 ( в соавторстве).
- 3.Моделирование на ЭЦМ "ПромГмь" процесса скатывания отцепов при расчете сортировочных устройств.Труды ДИИТа,вып.127/5, Днепропетровск, 1971 ( в соавторстве).
- 4.Исследование алгоритма вычисления переменной скорости пуска составов в системе АЗСР.Материалы УП общесоюзной научно-технической конференции по применению математических методов и ЭЦМ в эксплуатации железных дорог,М.,1970 ( в соавторстве).
- 5.Экспериментальные исследования основных технико-эксплуатационных параметров состава АЗСР на сортировочных горках. Материалы IX общесоюзной научно-технической конференции по применению математических методов и ЭЦМ в эксплуатации железных дорог,М.,1972 ( в соавторстве).

6. Моделирование на ЭЦВМ работы системы АЗСР ЦНИИ и определение оптимальных условий ее функционирования. Материалы IX общесетевой научно-технической конференции по применению математических методов и ЭЦВМ в эксплуатации железных дорог .М., 1972 ( в соавторстве).

7. О количественной оценке эффективности функционирования систем автоматизации сортировочного процесса с помощью ЭЦВМ . Материалы X общесетевой научно-технической конференции по применению математических методов и ЭЦВМ в эксплуатации железных дорог, М., в печати

Основные положения диссертационной работы докладывались

- на первой республиканской конференции молодых ученых-железнодорожников, Днепропетровск, 1969 г.

- на юбилейной научно-технической конференции ДИТА , Днепропетровск, 1970 г.

- на VI, VII, IX и X общесетевых научно-технических конференциях по применению математических методов и ЭЦВМ в эксплуатации железных дорог, Москва, 1969-1973 гг

НТБ  
ДНУЖТ

**БГ 22243.Подписано к печати 22/Х-73г.объем 2,5 п.л.Зак.159-120**

---

**ПОМ треста "Днепрогеофизика"ул.В.Дубинина, 8.**

НТБ  
ДНУЖТ