

М 497 889

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ЧПЛАХЯН Микаел Русланович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ СИСТЕМ
ГПС ЗА СЧЕТ ИХ ОПТИМАЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Специальности 05.13.07 – Автоматизация
технологических процессов и производств
08.00.28 – Организация производства

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор ВОЛКОВИЧ Л.И.

Научный консультант – кандидат технических наук,
доцент САДОВСКАЯ Т.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ЧЕРНЯКОВ Б.И.
кандидат технических наук,
доцент МИНАЕВ Э.С.

Рядущее предприятие – Московское станкостроительное
производственное объединение
"Красный пролетарий"

Защита состоится "19" июня 1991 г. на заседании специализированного Совета К 053.15.01 в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового техническом университете
Москва, 2-я Бауманская,

ся в библиотеке

авверенный печатью, просим

мая 1991 г.

В.Т. Рябов

ИЧ94889

Актуальность проблемы. В настоящее время существует устойчивая тенденция постоянного изменения объектов производства при условии сохранения больших объемов выпуска. Эта тенденция привела к созданию и внедрению гибких производственных систем (ГПС), которые являются новой ступенью автоматизации производства. В связи с повышением степени автоматизации как технологических, так и вспомогательных операций, возрастает число задач, решаемых при проектировании ГПС.

Одной из основных составляющих системы обеспечения функционирования ГПС является автоматизированная транспортно-складская система (АТСС), которая материализует процессы планирования, обеспечения и диспетчирования производства. Технито-экономические показатели ГПС в немалой степени зависят от правильной организации АТСС, чему до сих пор не уделялось должного внимания. Повышение уровня ГПС, т.е. переход к гибким автоматизированным цехам (ГАН), дальнейшая интеграция производства и переход к гибким автоматизированным заводам (ГАЗ) предъявляют повышенные требования к работоспособности АТСС, показатели которой закладываются на стадии проектирования. Необходим обоснованный выбор количества транспортных и штабелирующих устройств, их скоростей, длины и траектории их трасс, вместимости складов и промежуточных накопителей. Кроме того, в целях сокращения времени вспомогательных операций необходим правильный выбор режимов обслуживания рабочих позиций и методов отселения материальных потоков в ГПС. Многовариантность выбора оптимального решения компоновки АТСС и организации ее работы в условиях высокой стохастичности процессов функционирования АТСС и отсутствия правильной информации об эффективности ГПС, делают эту задачу одной из наиболее сложных в процессе проектирования ГПС.

Цель работы и основные задачи исследования. Целью работы является повышение эффективности функционирования АТСС ГПС за счет их оптимального проектирования и управления. Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- разработка системы моделей и методов их использования для синтеза АТСС;
- исследование влияния параметров АТСС на технико-экономические показатели ГПС, анализ влияния производственных факторов

на состав АТСС и параметры ее функционирования;

- эксплуатационные исследования функционирования ППС, сбор и анализ исходных данных для моделирования;

- разработка практических рекомендаций по созданию и управлению АТСС ППС.

Научная новизна. Выявлены закономерности влияния условий производства на синтез структуры АТСС; определена взаимосвязь производительности ППС от технико-экономических показателей АТСС и режимов обслуживания рабочих позиций; установлены внутренние взаимосвязи характеристик АТСС; разработана методика оптимизации количественных характеристик АТСС.

Практическая ценность. Использование методики повышения эффективности функционирования АТСС позволяет при проектировании учитывать производственную ситуацию, связанную с надежностью и переналадками технологического оборудования. Разработаны алгоритмы и программы генерирования и выбора оптимальных вариантов количественных показателей и структуры АТСС.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1) современные ППС в том числе скомпонованные из зарубежного оборудования, не обладают высокой надежностью в работе;

2) структура и компоновка АТСС должны выбираться, исходя не только из номинальных показателей ППС, но и их надежности в работе;

3) длительность и стоимость имитационного моделирования может быть сокращена двухэтапным подходом.

Апробация. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры "Электронное машиностроение" МГТУ им. Н.Э. Баумана; на Всесоюзном научно-техническом симпозиуме "Проблемные вопросы автоматизации производства" в г. Воронеже (1987), на зональных семинарах "Организационно-экономические проблемы автоматизации процессов исследований, проектирования и производства" в г. Пензе (1988).

Публикации. Материалы диссертационной работы изложены в 2-х печатных работах, список приведен в конце автореферата.

Методы исследования. Теоретические и экспериментальные исследования проводились на базе теории имитационного моделирования, массового обслуживания, производительности рабочих машин и линейного программирования; методов экспериментального исследования функционирования рабочих машин. Экспериментальные ис-

исследования проводились в лаборатории кафедры "Электронное машиностроение" МГТУ им. Н.Э. Баумана и в цехах МПО "Красный пролетарий" с использованием современной регистрирующей, измерительной и вычислительной техники. Достоверность теоретических и эксплуатационных разработок подтверждена результатами производственных реализаций на МПО "Красный пролетарий". Получен экономический эффект, подтвержденный актом о внедрении.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 116 страницах машинописного текста, включает в себя 14 таблиц, 28 рисунков, список литературы из 73 наименований и приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы основные научные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе приводится анализ особенностей и обзор применения АТСС в ППС, рассмотрены проблемы построения АТСС и методы моделирования процессов функционирования АТСС ППС.

Дается анализ мирового опыта применения АТСС в ППС. Подчеркивается, что повышение степени автоматизации и гибкости производственных систем формируют тенденции отказа от традиционных конвейерных транспортных систем. Приводятся данные о росте использования напольного транспорта, в основном индуктивных робокар, и многоярусных стеллажных складов в связи с проектированием и вводом в эксплуатацию ГАЦов и ГАЗов. Отмечены основные преимущества робокарного транспорта: гибкость и поливариантность траекторий движения, возможность безболезненного наращивания ППС. Основными преимуществами стеллажных складов является малая занимаемая площадь, компактность, быстрота вноса и выноса груза. Отмечается тенденция отказа от традиционных способов кодирования грузов в связи с переходом к глобальной модели склада в памяти системы управления ППС (СУ ППС), что предполагает обязательное прохождение детали после каждой обработки на рабочей позиции через склад.

Дается анализ литературных источников по эффективности использования АТСС в ППС исходя из общепринятых критериев — повышения производительности труда, снижения капитальных и эксплуатационных затрат. Отмечено, что число возможных компоновок АТСС велико из-за большого количества составляющих ППС элементов.

Традиционные способы выбора основаны на анализе малого числа вариантов, определенных проектировщиком интуитивно, исходя из опыта. Поэтому возникает необходимость разработки метода выбора наилучшего варианта компоновки ППС из множества возможных решений. Отмечено, что отсутствие единых критериев для принятия решения и игнорирование высокой стохастичности системы приводят к двум основным ситуациям. Первая – АТСС разрабатывается с большим запасом производительности, что приводит к увеличению капитальных вложений и простоям дорогостоящего транспортно-складского оборудования. Вторая – АТСС разрабатывается как система, работающая на пределе своих возможностей, что приводит к простоям технологического оборудования. Проведенный обзор литературных источников показывает, что при проектировании ППС на выбор и организацию АТСС преобладает анализ влияния отдельных факторов, но отсутствует комплексный анализ совместного влияния этих факторов на генерацию оптимального варианта АТСС. На основе анализа мирового опыта эксплуатации ППС выявлены варианты совместности транспортных и складских подсистем и зависимость выбора аппаратных средств АТСС от уровня ППС.

Выделены 4 основных алгоритма функционирования АТСС, которые необходимы при формировании моделей функционирования АТСС.

Дается анализ методов моделирования АТСС ППС, их преимущества и недостатки. Подчеркивается, что детерминированное исчисление и модели на основе теории систем массового обслуживания недостаточно учитывают неравномерность материального потока либо во времени, либо в пространстве. Отмечено, что отсутствуют также аналитические методы расчета складских запасов, учитывающие одновременно физическую и экономическую суть процесса. Выявлено, что наиболее целесообразно использовать при проектировании и оптимизации параметров АТСС теорию имитационного моделирования, позволяющую: резко уменьшить идеализацию системы; повысить точность оценок интересующих параметров; осуществлять событийный прогноз во времени и пространстве. Кроме того, теория имитационного моделирования позволяет осуществить переход от традиционного к системному проектированию АТСС.

Во второй главе приведена скорректированная методика имитационного моделирования процессов функционирования АТСС ППС; даны основные факторы, определяющие условия функционирования АТСС, разработана система аналитических и имитационных моделей

для синтеза и повышения эффективности функционирования АТСС.

Отмечено, что стратегия приоритета организации сложного объекта и управления им реализуется имитационным моделированием в тактике параллельной оптимизации параметров всех подсистем ИПС, в том числе и АТСС. Подчеркнуто, что применение теории имитационного моделирования к ИПС отличается от ее приложения к автоматическим линиям не только определяемыми параметрами, но и структурными требованиями описания иерархии ИПС. Проведенный анализ работ показывает, что зачастую имитация ИПС носит априорный характер, что вытекает из трудности сбора информации о проектируемых и функциональных ИПС и наличия в литературе завышенного в рекламных целях эффекта от внедрения ИПС.

Выделены и проанализированы возможные варьируемые при моделировании факторы: время обработки деталей; размеры передаточных партий; скорость перемещения транспортных и складских штабелирующих устройств; количество транспортных и складских штабелирующих устройств; вместимость складов. Отмечена возможность объединения двух первых факторов с помощью преобразования:

$$t_1 = \frac{n_2}{n_1} (t_2 + t_{3B}) - t_{3B}$$

где t_1 и t_2 - времена обработки соответственно деталей старой и новой номенклатуры; n_1 и n_2 - размеры передаточных партий; t_{3B} - время загрузки и выгрузки детали непосредственно на станок.

Подчеркнута также возможность отображения изменения геометрического расположения рабочих позиций и складов в изменении скоростей транспортных средств. Отмечена целесообразность выбора в качестве реакции только одного интегрального параметра для сокращения трудоемкости моделирования и уменьшения машинного времени имитационных экспериментов. В качестве реакции выделена производительность ИПС Q ; другие выходные параметры, как например, очередь требований на обслуживание от рабочих позиций, величина загрузки транспортных средств и т.д. в рамках модели целесообразно рассматривать как экзогенные переменные.

Особое внимание уделяется выбору языка имитационного моделирования. Приведены особенности ИПС, определяющие целесообразность применения имитационных языков группы "поиска". К данной группе относится язык имитационного моделирования MOPS,

разработанный на кафедре "Электронное машиностроение" МГТУ им. Н.Э. Баумана. Язык MOPS краток и эффективен при разработке структурно-компоновочных решений автоматизированных технологических комплексов и оперативном планировании с целью наиболее полной загрузки оборудования массового производства в условиях переменной номенклатуры, кроме того, - при отработке программного обеспечения автоматических комплексов с иерархическими системами управления. Приведена структура языка и необходимые этапы моделирования.

При анализе производительности ППС выделен коэффициент производительности АТСС η_{ATCC} , определяемый по формуле:

$$\eta_{ATCC} = \frac{T_{обр}}{T_{обр} + T_{ос}}$$

где $T_{обр}$ - время обработки партии деталей; $T_{ос}$ - время обслуживания технологического модуля транспортно-складской системы, несовмещенное с обработкой.

Проведен анализ наиболее распространенных компоновок АТСС и составивших времени обслуживания для каждого варианта. Определено условие полного перекрытия времен работы стеллажных складов и транспортного средства:

$$V_{ш} \geq \frac{2 \bar{S}_{ш} V_T}{\bar{S}_T - (25...40) \bar{V}_T}$$

где $\bar{S}_{ш}$ и $\bar{S}_T$ - средние пути, проходимые соответственно штабелером и робокарой; $V_{ш}$ и V_T - скорости перемещений соответственно штабелера и робокары.

Определены основные факторы, влияющие на структуру и параметры АТСС, и установлены взаимосвязи между ними. Проведены имитационные эксперименты для оценки влияния на производительность ППС размеров передаточных партий, скоростей и количества транспортных и штабелирующих устройств, вместимостей складов и количества перенатяжек технологического оборудования. Установлено, что для конкретных производственных условий существуют конкретные оптимальные размеры передаточных партий и вместимость зоны склада для полуфабрикатов. Выявлены зависимости между вместимостью склада и скоростями транспортных средств при малом количестве взаимосвязанных участков групп технологического оборудо-

вания, а также между скоростями транспортных средств и производительностью ППС. Зависимости имеют формы кривых насыщения. Уделено внимание аномальным ситуациям, когда недостаточная скорость штабелера приводит к полному простоям какого-либо из участков обработки из-за неравномерной суперпозиции потоков требований от разных участков. Отмечена возможность выбора в общем случае определенной скорости штабелера для поддержания нужного соотношения номенклатурных единиц готовых деталей на складе.

В процессе имитационных экспериментов установлено, что прогон каждого возможного структурно-компоновочного решения ППС неоправданно увеличивает трудо- и энергоемкость имитационного моделирования и эксперимента. Поэтому перед этапом имитационного моделирования целесообразно проводить определение области оптимальных решений с помощью менее трудо- и энергоемкого аналитического моделирования. Получены аналитические выражения для расчета интенсивностей материальных потоков при наиболее распространенном для высокоуровневых ППС функциональном расположении оборудования:

$$\begin{aligned} Q \sum_{i \in I(j)} \frac{T_i}{J I(j)} X_i &\leq P_j \\ J I(j) \sum_{i \in I(j)} A_{kj} &= J I(j+1) \sum_{i \in I(j+1)} A_{k,j+1} \\ \eta_{j(c)}^{(j)} &= \sum_{i \in I(j)} \xi_i \\ X_i &= X_k a_{ki} \end{aligned}$$

где I - общее количество выполняемых в ППС операций; K - общее количество номенклатурных единиц; J - количество групп оборудования; $J I(j)$ - количество технологических модулей в j -ой группе, $j \in J$; $I I(j)$ - количество операций, выполняемых на j -ой группе оборудования; X_k - подетальный вектор МИХ; X_i - пооперационный вектор МИХ; T_i - время выполнения i -ой операции; ξ_i - интенсивность потока деталей для выполнения i -ой операции; $\eta_{j(c)}^{(j)}$ - интенсивности обмена между складом и j -ой группой оборудования и наоборот; A_{kj} и a_{ki} - логические переменные, причем:

$$\begin{aligned} A_{kj} &= \begin{cases} 1, & \text{если деталь } k \text{-го типа проходит обработку на } j \text{-ой группе оборудования,} \\ 0 & \text{- в противном случае;} \end{cases} \\ a_{ki} &= \begin{cases} 1, & \text{если над } k \text{-им типом детали выполняется } i \text{-ая операция,} \\ 0 & \text{- в противном случае.} \end{cases} \end{aligned}$$

Решение сводится к отысканию множества $\eta = \{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_i\}$, $j \in J$, $\eta_i > 0$, при котором $Q = \max$ (блок А2, рис. 1).
 Следующие блоки аналитического моделирования производят ограничение области оптимальных решений (А3, А4). Критерием оптимальности компоновочного решения является выражение

$$F = \sum_{j=1}^J \eta_j^c \cdot L_{jc} \rightarrow \min$$

где L_{jc} - расстояния между j -ой группой оборудования и складом.

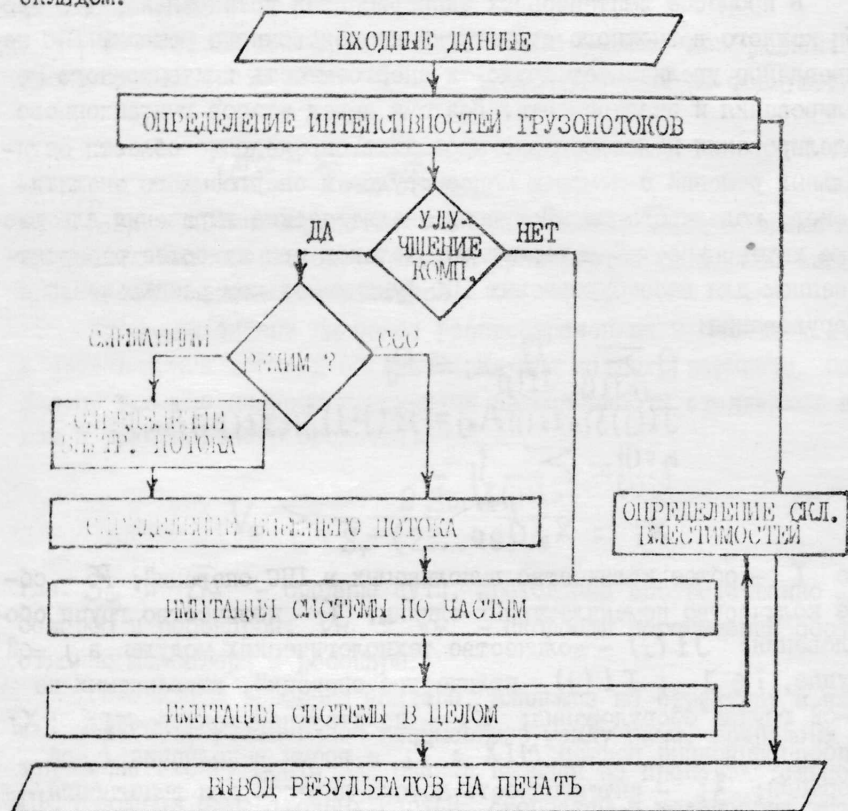


Рис. 1. Блок-схема синтеза и повышения эффективности функционирования АТСС ИИС

Отмечено, что данная методика может быть использована не только при функциональном расположении технологического оборудования, но и при любом. При этом $J1(j)$ принимается равным 1. Задача решена с использованием подпрограммы серии **MFGR** фирмы IBM.

Дополнительными исходными данными и последующий блок имитационного моделирования (А6, А7) являются показатели работоспособности технологического оборудования. При разработке модулей блока имитационного моделирования принималось во внимание целесообразность разбиения высокоуровневых ППС на части. Поэтому блок имитации включает в себя два подмодуля — имитации системы по частям и имитации системы в целом. Блок А5 отслеживает изменение вместимости склада во времени, определяя ее максимальную величину.

Особое внимание уделялось гибкости разработанной блок-схемы, вследствие чего корректировка проектных входных величин возможно до и после запуска любого блока. Кроме того, возможно включение в исходные данные любых характеристик АТЭС и наблюдение только за одной реакцией модели — производительностью ППС.

Третья глава посвящена эксплуатационным исследованиям функционирования технологического и транспортно-складского оборудования ППС, сбору и анализу исходных данных для моделирования.

На объект исследования был принята типовая ППС высокого уровня, осуществляющая механическую обработку корпусных деталей и деталей типа тел вращения для отечественных промышленных роботов и токарных автоматов на МС О "Красный Пролетарий". Приведены схема цеха ГАП и данные, описывающие комплексное решение ППС. ППС включает 51 единицу технологического модулей, распределенных по 10 группам оборудования. Номенклатура обрабатываемых деталей состоит из 84 наименований. ППС занимает производственную площадь в 5200 м². ППС цеха ГАП оснащена высокоавтоматизированной транспортно-складской системой. АТЭС включает в себя 5 индуктивных робокар класса "Карьер" со скоростями перемещения $V \dots 0,2$ м/с; два многорусных стеллажных склада с суммарной вместимостью $E = 548$ ячеек, оснащенных кранами-штабелерами; 155 станочных и складских приемных станций и 10 станций локального управления транспортными средствами. Для получения реальных данных функционирования ППС были проведены статистические исследования ее работоспособности. На основе данных хронометража построены балансы затрат планового фонда времени по группам технологического оборудования. Исследования показали, что ППС за год теряет более 16 тыс. часов станочного времени в целом. Реальная загрузка оборудования в среднем в 1,6 раза меньше по сравнению с плановой. Самыми загруженными местами ППС являются груп-

на станков 1740 РЗ-I и ИР-800 ПМГ-24, имеющие наилучшие показатели по надежности. В среднем ППС теряет 13% планового фонда времени из-за переналадок и 7% - по организационным причинам. Подчеркнуто, что возможность охарактеризовать надежность АТСС отсутствует из-за ее большой избыточности. Осуществлена оценка избыточности транспортной подсистемы с помощью теории массового обслуживания. Оценка показала, что в среднем четыре робокары простаивают и соответственно работает только одна робокара:

$$M_c = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k) P_k \approx 4$$

где n - число транспортных единиц; P_k - расчетные вероятности состояний ППС; M_c - среднее число простаивающих робокар.

Осуществлена оценка вместимости складской подсистемы. Установлено, что исходя из распределения состояний складской подсистемы наибольшая вероятность $P_{\max} = 0,3$ приходится на значение вместимости $E = 528$ ячеек, т.е. реальная вместимость удовлетворяет производственным условиям. Отмечено, что данная методика не позволяет анализировать возможные пиковые заполнения складов и перевозки грузов. Поэтому необходимы такие свойства имитационного языка, которые дают возможность оперативного наблюдения за состояниями моделируемой системы. Этой возможностью обладает язык *MOPS*.

В результате анализа исследуемого объекта установлено, что разработка практических рекомендаций для повышения эффективности функционирования АТСС цеха ГАП сводится к решению следующих задач: определение необходимого количества робокар при функционировании ППС в заданном диапазоне номенклатурных единиц скорости их передвижения; определение возможных пиковых грузооборотов в цеху; определение реального объема работ, который может выполняться данной АТСС; анализ возможных изменений маршрутов робокар или переконфигурация цеха при неизменных производственных площадях.

Четвертая глава посвящена реализации блок-схемы функционирования АТСС ППС и анализу результатов моделирования и выработке рекомендаций для совершенствования ЦЕХА ГАП с оценкой точности и достоверности определяемых величин.

Исходя из результатов производственного анализа работоспособности, были подготовлены входные данные для блока аналитиче-

ского моделирования. Приведены таблицы с распределением операций по группам оборудования, распределением деталей кооперационно и по группам оборудования, данные о векторе MIK , временах обработки и размерах передаточных партий. С учетом вышеперечисленных величин, определялись интенсивности грузопотоков между каждой группой оборудования и складами в режиме "точно-вовремя". При этом обратный поток принимался тождественно равным потоку к станкам от складов, т.е. без учета брака.

Приведены упорядоченные данные о маршрутах деталей, расчетные "меню" по каждой группе оборудования. При постановке задачи учтены все данные хронометража по простоям оборудования. Осуществлена тактическая разбивка ИПС на составляющие ее группы технологического оборудования и определены условия моделирования этих частей. Каждая группа оборудования представлена в виде ресурсов, имеющих собственный исток и склад транзактов. Вся система объединена в квазисинхронный блок без внутренних накопителей с автоматическим переключением алгоритмов, активизируемых транспортные устройства. Данные алгоритмы материализуют 2-ой системный уровень СУ ИПС, управляющий 3-м аппаратным уровнем (бортовые компьютеры робокар и кранов-штабелеров). Приведена методика заполнения входных файлов в имитационные модели групп технологического оборудования. На выходе каждого подмодуля имитации устанавливается закон распределения требований от рабочих позиций во времени по гистограмме частоты требований.

На втором этапе моделирования системы в целом реальная компоновка ИПС преобразована в линейную с присвоением адресов и определением межадресных расстояний L_j по формуле:

$$L_j = \frac{\sum_{j \in J(j)} \ell_j^c}{J(j)}$$

где ℓ_j^c — расстояние между каждым станком, входящим в данную группу и складской зоной.

Таким образом, каждая группа представлена как единый ресурс. Общая модель включает в себя 9 ресурсов, так как десятая группа оборудования пятикоординатных станков УД-23 не обслуживается транспортной подсистемой. Приведена методика заполнения входных файлов в общую модель. Подчеркнуто, что алгоритмы общей модели реализуют функции 1-го глобального уровня СУ ИПС.

После запуска блока аналитического моделирования определены интенсивности грузопотоков в режиме "точно-вовремя" без учета простоев станков. Производительность ПМС в данном режиме равна 0,043 парт./мин при результирующей вместимости складов $E = 48$ ячеек. Это означает, что в любом случае необходимо иметь минимальную вместимость склада, равную общему числу технологических единиц ПМС. После запуска второго блока аналитического моделирования определены наилучший и наилучший варианты геометрического расположения оборудования цеха ГАП. Исследование результатов первого этапа имитационного моделирования показало, что интенсивности требований групп оборудования имеют явно выраженное экспоненциальное распределение. При этом точность расчета повышается с увеличением числа технологических модулей в группе и уменьшением среднего времени обработки партии деталей. На рис. 2 представлены значения интенсивностей потоков партий деталей к каждой группе оборудования в различных режимах функционирования ПМС. Параллельно с блоком имитации действует блок сканирования вместимостей складом на базе выражения для дифференциала вместимости:

$$dE = \left(\sum_{j=1}^J \eta_j'' - \sum_{j=1}^J \eta_j^{\wedge} \right) dt$$

где η_j'' - интенсивности потоков, полученные при имитационном моделировании группы оборудования с полной загрузкой станков;
 $\eta_j^{\wedge}$ - интенсивности потоков, полученных при аналитическом моделировании в режиме "точно-вовремя".

Кроме того, исходя из оперативных наблюдений за имитационным экспериментом для выявления пиковых загрузок складов и максимального времени хранения партии деталей на складе $T_{хр} = 10200$ мин, установлено, что вместимость складов и 30% станочных станций, т.е. $E = 568$ ячеек, полностью удовлетворяет производственным требованиям. Таким же образом установлено, что необходимая вместимость входного складского накопителя на складе для малых и средних деталей должна быть не менее 3-х ячеек во избежание простоя робота при складской погрузке или разгрузке. Средний коэффициент загрузки кранов-штабелеров равен 0,769; производительность - 0,14 парт./мин. Проверка скоростей кранов-штабелеров показала, что реальная скорость штабелеров, равная 0,7 м/с, несколько больше минимальной расчетной, равной

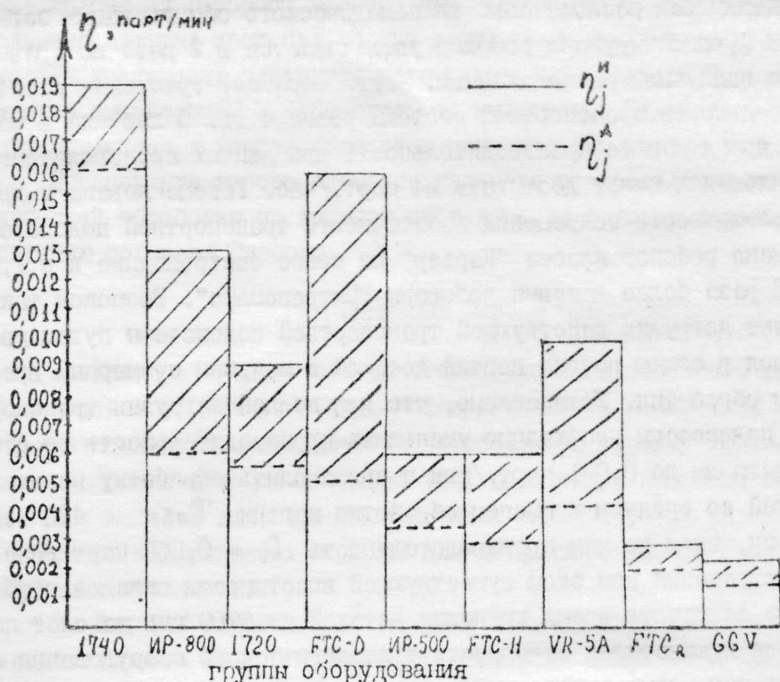


Рис. 2. Интенсивности материальных потоков цеха ГАП при различных режимах обмена

0,52 м/с. Таким образом, реальное количество кранов-штабелеров не является избыточным и полностью удовлетворяет производственным требованиям.

Общая производительность системы равна 0,07 парт./мин. Наблюдения за прогонами модели показали, что в цеху работает в основном один робокран, имеющая загрузку $P_p = 0,48$. Вторая робокрана используется только в моменты пиковых перевозок, остальные простаивают в течение всего цикла моделирования. Таким образом установлено, что транспортная подсистема избыточна, и ППС могла бы обслуживаться только 2 робокранами. Соответственно сокращается число постов локального управления на 2 ... 3 единицы. Сокращение транспортной подсистемы позволяет уменьшить капитальные расходы на 130 тыс.руб. и эксплуатационные расходы на 25 тыс.руб. ежегодно.

Установлена слабая функциональная зависимость производительности ППС от варианта компоновки оборудования цеха, однако

при наилучшем расположении технологического оборудования загрузки функционирования робота увеличивается в 2 раза по сравнению с наилучшим расположением. Таким образом, требуемая производительность транспортной системы равна 4 ... 5 партий в час, в то время как ее производительность при данных производственных площадях может достигать 24 парт./час. Рекомендована и другая возможность сокращения избыточности транспортной подсистемы — замена робота класса "Карьер" на менее быстроходные и в 1,5 ... 2 раза более дешевые роботы "Интрансмаша". Возможен также вариант догрузки действующей транспортной подсистемы путем увеличения в общем потоке партий деталей с меньшим суммарным временем обработки. Установлено, что для полной загрузки транспортной подсистемы необходимо уменьшить производительность по старым деталям до 0,011 парт./мин и производить обработку новых деталей со средним временем обработки партии $T_{\text{оср}} = 420 \dots 450$ мин, имея по ним производительность $Q = 0,063$ парт./мин. Для сохранения при этом существующей вместимости складов необходимо сократить время хранения деталей до 6700 мин за счет повышения показателей надежности технологического оборудования и соблюдения ритма выхода готовых деталей со складов. Кроме того, с увеличением интенсивности материальных потоков необходимо освободить зону вноса/выноса склада для малых и средних деталей от ручных комплекточных работ путем переоборудования второго торца склада. Отмечено, что и в этом случае можно уменьшить загрузку транспортной подсистемы путем перехода от режима "станок-склад-станок" к смешанному. Для оценки уменьшения загрузки M_1/M_2 с помощью формулы Литтла получено выражение:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\eta_1 T_1}{\eta' T_2 + (\eta_1 - \eta') T_1}$$

где T_1 — время обслуживания требования при режиме "станок-склад-станок"; T_2 — время обслуживания требования при смешанном режиме; η_1 — интенсивность материального потока при режиме "станок-склад-станок"; η' — интенсивность материального потока при режиме "точно-по времени".

Установлено, что при переходе от режима "станок-склад-станок" к смешанному режиму обмена загрузка транспортной подсистемы можно уменьшить в 1,3 ... 1,4 раза.

Исходя из разброса величин производительности ППС и максимального времени хранения партии деталей на складах, выявлено, что для достижения доверительного интервала, равного 0,99, достаточно провести 60 ... 65 прогонов имитатора. Переходный режим осуществляется в рамках обработки примерно 100 партий деталей.

Обоснование выбора экспоненциального распределения интенсивностей обработки по группам оборудования осуществлялось по критерию согласия Пирсона.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Для правильного выбора структурно-компоновочного варианта построения ППС и технико-эксплуатационных параметров АТСС ППС рекомендуется использовать разработанную систему моделирования процесса функционирования ППС, включающую комплект аналитических моделей для ограничения числа анализируемых вариантов и комплект имитационных моделей для детализированного анализа выбранных вариантов.

2. Для ГАУ обработки арматурных деталей максимальная производительность от 0,021 до 0,025 парт./мин получается при размере передаточных партий в 20 деталей, при этом размер зоны склада для полуфабрикатов колеблется в пределах от 20 до 40 ячеек в зависимости от партии запуска.

3. Для ГАУ обработки корпусных деталей требуемая скорость крана-штабелера, при которой обеспечивается синхронная работа всех групп оборудования, должна быть 3,3 м/мин; минимальную вместимость склада следует рассчитывать при скорости транспортного средства сквозной группы оборудования, обрабатывающего все номенклатурные единицы деталей, не менее 10 м/мин.

4. При расчетах производительности ППС высокого уровня рекомендуется использовать экспоненциальный закон распределения времени обработки, при этом точность расчета повышается с увеличением числа станков в группе оборудования и уменьшении среднего времени обработки одной партии деталей.

5. Реализация разработанной блок-схемы инженерного анализа функционирования АТСС ППС высокого уровня, позволила установить, что при изменении компоновки оборудования ППС ее производительность практически не изменяется, но изменяется загрузка робота, при этом действующая транспортная подсистема является из-

биточной.

6. Для повышения эффективности АТСС цеха ГАП следует сократить число робокар с 5-и до 2-х, или же применять робокари со скоростями движения в 1,5 ... 2 раза меньше без изменения грузоподъемности; это позволит сократить капитальные вложения на 130 тыс.руб. и ежегодные эксплуатационные затраты на 25 тыс.руб.

7. При отсутствии возможности сокращения числа робокар рекомендуется для повышения их загрузки увеличивать долю партий деталей со сравнительно малыми временами обработки $T_{обp} = 420 \dots 450$ или до 70% в общем потоке партий деталей. При этом производительность ПНС увеличится в 1,25 раза.

8. При повышении производительности ПНС в 1,25 раза, возможно сохранение существующей вместимости складов, необходимо сократить среднее время хранения деталей до 6 ... 7 дней за счет уменьшения показателя надежности технологического оборудования и соблюдения ритма выхода готовых деталей со складов.

9. Загрузку транспортной робокарной подсистемы цеха ГАП можно уменьшить в 1,3 ... 1,4 раза путем перехода от режима "станок-склад-станок" к смешанному режиму обмена.

Экономический эффект от реализации предложенных мероприятий составит 57 тыс.руб. в год.

Основные положения диссертации отражены в работах:

1. Чхлахян М.Р. Исследование работоспособности автоматизированной транспортно-складской системы ПНС // Проблемные вопросы автоматизации производства: Тез.докл. Всесоюз.научно-техн. симпозиума. - М., 1987. - С. 55-56.

2. Садовская Т.Т., Чхлахян М.Р. Исследование гибкой производственной системы методом имитационного моделирования // Организационно-экономические проблемы автоматизации процессов исследований, проектирования и производства: Тез.докл. зонального семинара. - Пенза, 1988. - С. 26-28.