

Таким образом, во всем диапазоне изменения момента инерции движение осуществляется без перерегулирования. Время регулирования несколько увеличивается, однако такое увеличение можно считать вполне приемлемым. Максимальная угловая скорость и ток двигателя также возрастают в допустимых пределах. Следовательно, привод при фиксированных настройках способен обеспечить нормальную работу в достаточном диапазоне изменения момента инерции.

Варьирование коэффициентами передачи цепей обратной связи в пределах 5% также показало, что это не отражается существенным образом на характере движения. Поэтому погрешность измерения переменных и нестабильность параметров цепей передачи сигнала не должна существенно влиять на работу привода.

Из всего изложенного следует, что приводы перемещения роботов и других манипуляционных механизмов могут синтезироваться методом размещения полюсов. При этом за счет соответствующего выбора значений полюсов можно обеспечить такую настройку привода, при которой перемещение осуществляется за минимальное время без перерегулирования, а угловая скорость и ток двигателя изменяются в допустимых пределах. Все указанное обеспечивается в достаточно широком диапазоне изменения приведенного момента инерции привода, что позволяет механизму нормально работать при манипулировании объектами различной массы.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анхимюк, В.П. Теория автоматического управления / В.П. Анхимюк, О.Ф. Опейко, Н.Н. Михеев. – Минск: Дизайн ПРО, 2002. – 352 с.
2. Копылов, И.П. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – Т. 1: Машины постоянного тока. – 527 с.

УДК 629.113

*Стаскевич А.И.*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Монтик С.В.*

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЗОНЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

При проектировании автотранспортных предприятий, а также организации технического обслуживания автомобилей на существующих предприятиях возникает задача оптимизировать работу зоны технического обслуживания автомобилей, т.е. определить оптимальное число постов технического обслуживания автомобилей.

При этом нужно учитывать, что по мере роста показателей, влияющих на пропускную способность средств обслуживания (число постов, исполнителей, оснащение технологическим оборудованием и инструментом), затраты, связанные с простоем автомобилей в ожидании обслуживания, сокращаются, а затраты, вызванные простоем средств обслуживания и персонала в ожидании загрузки, возрастают. Минимальное значение суммы этих затрат, являющейся целевой функцией, и будет соответствовать оптимальной структуре обслуживания (например, число постов, исполнителей), при которой минимизируются потери предприятия, связанные с простоем средств обслуживания, ожиданием объектов обслуживания.

Для определения оптимального количества постов зоны технического обслуживания используются системы массового обслуживания, в которых случайными являются моменты поступления требований на обслуживание и продолжительность самих обслуживаний.

При этом возникает задача выбрать вид СМО, которая наиболее точно описывает работу зоны технического обслуживания (ТО).

В данной статье выполнен сравнительный анализ методик моделирования зоны ТО-1 автотранспортного предприятия (АТП) с использованием систем массового обслуживания с ограничением очереди и без ограничения на длину очереди.

Первоначально создавалась математическая модель зоны ТО-1 с использованием СМО с ограничением на длину очереди и выполнялся расчёт её параметров. Основными элементами СМО при моделировании зоны ТО-1 являются следующие элементы.

Входящий поток образуется автомобилями, требующими технического обслуживания ТО-1, и характеризуется интенсивностью поступления требований обслуживания  $\omega$ , час<sup>-1</sup>.

Обслуживающими аппаратами являются посты ТО-1, которые характеризуются количеством постов  $n$  и интенсивностью обслуживания  $\mu$ , час<sup>-1</sup>.

Очередь образуется автомобилями, требующими технического обслуживания, если все посты ТО-1 заняты и характеризуется длиной очереди  $l$ .

Выходящий поток образуется автомобилями, которые прошли техническое обслуживание (обслуженные требования), и автомобилями, которые из-за ограничений на длину очереди (ограниченное количество постов ожидания перед ТО) не прошли ТО и продолжили выполнять транспортную работу (не обслуженные требования).

При моделировании зоны ТО с помощью СМО будем рассматривать её как одноканальную СМО с ограничением на длину. Для учёта использования более одного поста ТО будем определять общую интенсивность обслуживания  $\mu_{СИСТ}$  для нескольких постов:

$$\mu_{СИСТ} = \mu \cdot n,$$

где  $\mu$  – интенсивность обслуживания для одного поста,  $n$  – количество постов.

Также выполнялось моделирование зоны ТО-1 с помощью многоканальной СМО без ограничения на длину очереди.

Расчет параметров СМО выполнялся по методике, изложенной в [1, 2].

Выполняем оптимизацию зоны ТО-1 по критерию минимальных суммарных затрат на содержание производственного подразделения и потери прибыли от простоя автомобиля в ожидании технического обслуживания, приходящееся на одно техническое воздействие. Суммарные затраты  $C_{\Sigma i}$  для  $i$ -го варианта зоны ТО-1 определяются:

$$C_{\Sigma i} = \frac{1}{12 \cdot N_{ОБСЛ}} \cdot (C_{ПРi} + C_{ЭКi} + E_H + K_{Вi}),$$

где  $N_{ОБСЛ}$  – количество обслуживаний за время моделирования,  $C_{ПРi}$  – затраты из-за простоя автомобиля в очереди на выполнение ТО-1,  $C_{ЭКi}$  – затраты на содержание зоны ТО-1,  $E_H$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принимаем  $E_H = 0,12$ ;  $K_{Вi}$  – капитальные вложения в создание зоны ТО-1.

После выполнения моделирования и расчета параметров данных СМО был выполнен их сравнительный анализ.

При моделировании зоны ТО-1 с помощью СМО без ограничений на длину очереди было установлено, что:

- для случая, когда приведенная плотность потока требований  $\rho > 1$  (т.е. число постов  $n=1$ , а необходимо число постов  $n > 1$ ) моделирование и расчёт по модели не возможны, т.к. очередь будет до бесконечности;

- для случая, когда  $\rho < 1$  (т.е.  $n \geq 2$ ) время ожидания в очереди  $t_{ож}$  оказывается меньшим количеством обслуживаний за время моделирования  $N_{обсл}$  и меньшим, чем для СМО с ограничением на длину очереди;
- суммарные затраты на 1 обслуживание при  $n=2$  ниже, а при  $n=3,4$  выше, чем для СМО с ограничением очереди.

При моделировании с помощью СМО с ограничением на длину очереди было определено (см. рис. 1, 2, 3, 4):

с увеличением стоимости простоя 1 часа автомобиля суммарные затраты на 1 обслуживание возрастают, но характер зависимости сохраняется;

с изменением количества постов ожидания для количества постов  $n=2,3,4$  характер зависимости затрат на обслуживание от количества постов ТО-1 не изменяется, т.е. затраты минимальны при  $n=2$ . Для варианта зоны ТО-1 с одним постом ожидания ( $m=1$ ) минимальные затраты на обслуживание будут при одном посту ТО-1 (т.е. для  $n=1$ ).

Независимо от вида СМО с увеличением количества постов ТО затраты возрастают, начиная с  $n=2$ . Для СМО без ограничения на длину очереди расчёт затрат для  $n=1$  не возможен, т.к.  $\rho > 1$  и очередь возрастает до бесконечности.

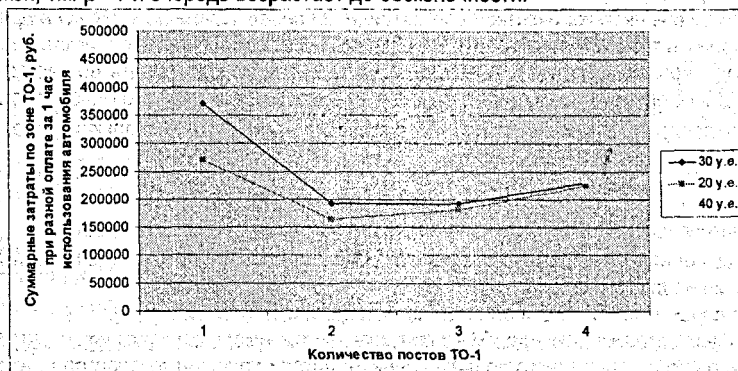


Рисунок 1 – Суммарные затраты по зоне ТО-1, руб. при разной оплате за 1 час использования автомобиля

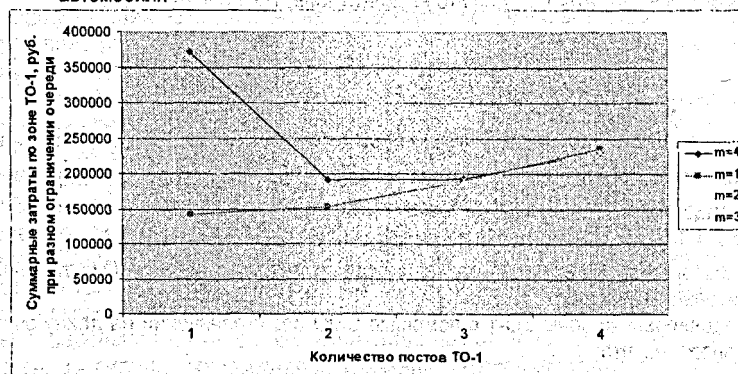


Рисунок 2 – Суммарные затраты по зоне ТО-1, руб. при разном ограничении очереди

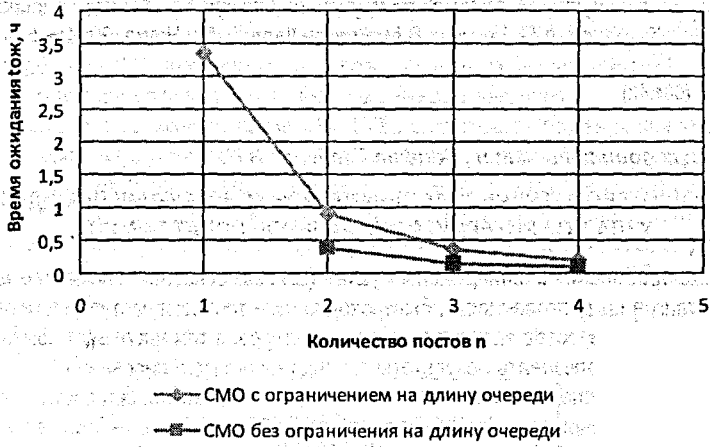


Рисунок 3 – Зависимость времени ожидания  $t_{ож}$  в очереди от количества постов

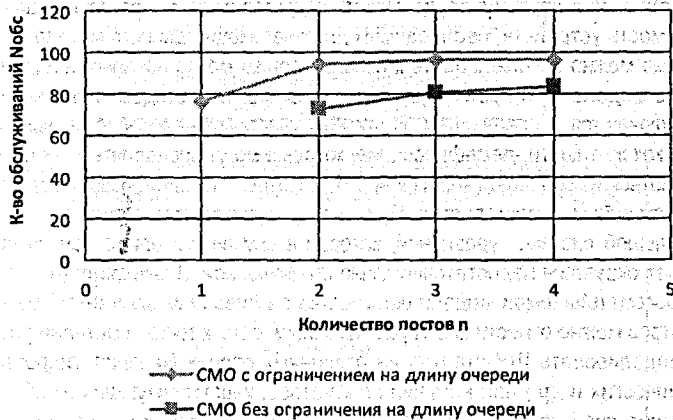


Рисунок 4 – Зависимость количества обслуживаний за время моделирования от количества постов

Исходя из результатов моделирования и анализа производственного процесса ТО и ТР автомобилей на АТП, для моделирования зоны ТО целесообразно использовать СМО с ограничением очереди. При этом длина очереди ограничивается количеством постов ожидания перед постами ТО, количество которых рекомендуется принимать в пределах 20% от количества постов ТО. Использование СМО без ограничения на длину очереди для моделирования зоны ТО не целесообразно, т.к. не соответствует производственному процессу ТО и ТР автомобилей.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Научные исследования и решение инженерных задач: учебн. пособие/ С.С. Кучур, М.М. Болбас, В.К. Ярошевич. – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2003.

2. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов [и др.] – М.: Наука, 2004. – 535 с.

УДК 621.9.06 (084.42)

*Хэ Цзинь*

*Научный руководитель: к.т.н., доцент Горбунов В.П.*

## ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОЙ ПОДАТЛИВОСТИ

Основные требования к шпиндельным узлам (ШУ) как основным элементам металлообрабатывающих станков по долговечности, быстроходности и точности растут. Достижение высоких показателей качества зависит от многих факторов, в том числе и от возможностей проектировщика использовать результаты компьютерного моделирования.

При расчетных исследованиях статических и динамических характеристик шпиндельного узла применяемый метод решения поставленной задачи должен учитывать степень сложности решения; гибкость метода, т.е. возможность быстрого перехода от конструкции одного объекта к другому; трудоемкость подготовительных работ и решения; сложность и стоимость устройств, необходимых для реализации данного метода.

На практике можно рекомендовать к использованию метод начальных параметров, который дает определенные преимущества по сравнению с методом конечных элементов, которые заключаются в следующем. В расчете участвуют непосредственные характеристики, такие как жесткости, демпфирование, которые могут определяться экспериментально или задаваться из справочников. Причем параметры этих элементов могут задаваться в виде их собственных характеристик. При большом количестве элементов не требуется решения большой системы уравнений, которая в случае экспериментально полученных данных может оказаться недостаточно точно ограниченной. В зависимости от степени детализации рассматриваемой модели (количества разбиваемых элементов) метод начальных параметров можно отнести как к приближенным, так и к точным методам расчета [1].

Можно моделировать ШУ станков на различных опорах (качения, гидростатических, гидродинамических и др.) при наличии параметров, характеризующих их жесткостные и демпфирующие свойства. Порядок формирования геометрической модели рассмотрен на примере консольно-фрезерного станка модели 6Т80Ш и на рисунке 1 представлена блок-схема расчета.

Проверка правильности расчетов проводилась на простых моделях шпиндельного узла, представленного в виде гладкого полого двухопорного вала, для которого имелись экспериментальные и справочные данные характеристик большинства подшипников, используемых в ШУ.

Расчет статической деформации вала (податливости конца шпинделя  $u_2$ ) производился по формуле (см. рис. 1) [2], где  $E$  – модуль упругости материала вала;  $l$  – расстояние между опорами;  $a$  – длина консольной части;  $J_1$  и  $J_2$  – осевые моменты инерции сечения вала соответственно на консольной части и между опорами;  $C_1$  и  $C_2$  – соответственно податливость передней и задней опор вала;  $\zeta_3$  – коэффициент, учиты-