

621.3

Б44

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

621,3:067

На правах рукописи

БЕЛЯЕВ Валерий Павлович

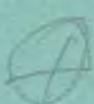
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОУПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЛИСТОВЫХ УСТАНОВОК

05.09.03 - Электрооборудование

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск - 1975



Є21.3

Б-44

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

БЕЛЯЕВ Валерий Павлович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТУПРАВЛЯЕМОГО АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ЛИФТОВЫХ УСТАНОВОК

05.09.03 - Электрооборудование

3731ар

1975

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

Минск - 1975

БИБЛИОТЕКА БТИ
имени С. М. ШИРОВА

Работа выполнена на кафедре "Электрооборудование и автоматизация промышленных установок" Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института (г.Минск).

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент ИЛЬИН О.П.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор БЫСТРОВ А.М.;

- кандидат технических наук,
доцент ШАФРАНСКИЙ В.И.

Ведущее предприятие - Могилевский лифтостроительный завод.

Автореферат разослан "10" сентября 1975 г.

Защита диссертации состоится "11" сентября 1975 г.
на заседании Ученого Совета по присуждению ученых степеней по энергетическим специальностям Белорусского политехнического института.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять по адресу: 220027, Минск, Ленинский проспект, 65, ВПИ, Ученому секретарю Совета по энергетическим специальностям.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА
кандидат технических наук

А.ГЕРАСИМОВИЧ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Повышение уровня жизни народа является одной из основных задач Коммунистической партии Советского Союза, определенных на девятой пятилетку. Важным показателем материального и культурного уровня народа является обеспечение его жильем. В настоящее время градостроительство развивается в сторону застройки городов высотными зданиями, неотъемлемой частью которых являются лифтовые установки.

Производительность лифтов и комфортабельность передвижения пассажиров в них являются актуальными проблемами лифтостроения и решаются на основе создания экономичного и рационального автоматизированного электропривода. Рост этажности зданий и скоростей передвижения выдвигают определенные требования к формированию тахограммы движения и высокой точности остановки на уровне этажа.

Об этом, в частности, говорилось на Второй Всесоюзной конференции по лифтостроению /апрель, 1972 г., г.Могилев/, где подчеркивалась необходимость исследований по созданию регулируемого электропривода переменного тока.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью работы является исследование частотно-управляемого электропривода для лифта, разработка методики расчета и формирования динамических режимов привода с учетом ограничений, накладываемых на ускорение и рывок; разработка рациональной структуры частотного электропривода, позволяющего формировать заданные переходные процессы.

МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. Исследование теоретических предпосылок формирования переходных процессов частотноуправляемого электропривода для лифтовых установок осуществлялось методом математического моделирования и расчета их на ЦВМ. Экспериментальные исследования основных теоретических положений производились на лабораторной установке.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ. Предложены выражения токов, потоко-сцеплений, электромагнитного момента и т.д., позволяющие упростить аналитическую запись законов частотного управления. Разработана методика расчета величины интенсивности нарастания частоты питающего напряжения при выбранных законах частотного управ-

ления. Для получения постоянной величины ускорения при изменяющейся нагрузке предложено управление интенсивностью при законах частотного управления, дающих конгруэнтное семейство механических характеристик. Исследованы режимы торможения при питании двигателя от автономного инвертора напряжения. Предложена схема для безударного пуска частотноуправляемого двигателя в системе "автономный инвертор напряжения - двигатель". Исследована динамика лифтовой установки с частотноуправляемым двигателем с учетом упругих сил канатов. Разработана система квазичастотного управления электропривода лифта. Разработана программа расчета на ЦВМ динамических режимов лифта с учетом электромагнитных процессов и нелинейности элементов его кинематики.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Разработан принцип управления частотноуправляемым электроприводом для создания постоянного динамического момента в переходных процессах. Изложена инженерная методика расчета величины интенсивности нарастания частоты питающего напряжения в динамических режимах. Предложен способ управления частотноуправляемым электроприводом при ограничениях рывка и ускорения с помощью управляющей модели. Разработана система квазичастотного управления двигателем. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования и создания частотноуправляемых электроприводов для высокоскоростных лифтов. По данным ВНИИ-электропривода применение регулируемого асинхронного электропривода для лифтовых установок может дать значительный экономический эффект.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на ежегодных отчетных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ЕПИ совместно с работниками промышленности в 1971-1975 гг.; на Всесоюзном совещании по автоматизации нефтеперерабатывающей, нефтедобывающей и нефтехимической промышленности в г.Баку 1971 г.; на научно-техническом семинаре "Автоматизированный электропривод" при МЦНП в г.Москве, 1972 г.; на научно-техническом республиканском семинаре "Применение полупроводниковых приборов в автоматизированном электроприводе" в г.Минске, 1972 г.; на УШ традиционной научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства в г.Томске, 1973 г.; на Второй Всесоюзной конференции по лифтостроению в г.Могилеве, 1973 г.; на научно-технической конференции "Динамичес-

кие режимы работы электрических машин переменного тока" в г. Смоленске, 1975 г.

ПУБЛИКАЦИЯ. По результатам диссертационной работы опубликовано 9 научно-технических статей.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация содержит 219 страниц машинописного текста, 39 рисунков, 34 осциллограмм и состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы на 85 наименований и приложения. Приложение состоит из 29 страниц, одного рисунка и актов внедрения опытного образца преобразователя для квазичастотного способа управления двигателем.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. Обзор существующих электроприводов лифтов и постановка задачи

Проведен обзор отечественных и зарубежных работ в области разработки и эксплуатации электроприводов лифтовых установок. Изложены требования, предъявляемые к идеальной тахограмме лифта. Дана технико-экономическая оценка двигателя переменного тока. Сформулированы основные задачи исследований.

Глава II. Вопросы динамики частотноуправляемого асинхронного электропривода

Изучение вопросов динамики частотноуправляемого электропривода в основном основывается на применении теории обобщенной машины. В силу нелинейности уравнений частотноуправляемого электропривода и сложного вида механической характеристики двигателя решить задачи динамики в общем виде не представляется возможным. Усложнение аналитических задач приводит к применению аналоговых и цифровых вычислительных машин. При рассмотрении динамики по энергетическим соображениям основное место отводится "мягким" переходным процессам. Исследование и формирование таких режимов проведено в данной работе. Для этого приводится обоснование применения математического моделирования асинхронного двигателя при частотном управлении. При таком управлении питающий двигатель на протяжении характеризуется несинусоидальностью и содержит широкий

спектр гармоник. В работе показано, что исследование поведения двигателя целесообразнее всего проводить с помощью системы дифференциальных уравнений, записанных в неподвижных относительно статора координатах. Поскольку при рассмотрении переходных процессов использовалась теория обобщенной машины, то для идентичности записи законов частотного управления, электромагнитного момента, токов, потокоцеплений, механической характеристики и т.д. были выведены на ее основе их выражения.

Отличительной чертой является то, что параметры машины в них представлены индуктивностями и активными сопротивлениями, что дает возможность применять эти выражения при любой частоте вращения без пересчета коэффициентов. Предлагаемые выражения упрощают аналитическую запись законов частотного управления и действия над ними. Они получаются из следующих преобразованных уравнений обобщенной машины

$$\begin{aligned}\bar{u}_s &= (a_{11} + j\omega_s) \bar{\psi}_s - a_{12} \bar{\psi}_r \\ \bar{u}_r &= -a_{12} \bar{\psi}_s + [a_{22} + j(\omega_s - \omega_r)] \bar{\psi}_r\end{aligned}\quad /1/$$

Например, электромагнитный момент двигателя определяется по выражению

$$M_{\Sigma} = \frac{3}{2} \frac{p}{R_s} |\bar{u}_s|^2 \frac{a_{12} a_{21} \delta^2}{A^2 + B^2} \quad /2/$$

потокоцепление статора и ротора по выражениям

$$\bar{\psi}_s = \frac{a_{22} + j\delta^2}{A + jB} \bar{u}_s; \quad \bar{\psi}_r = \frac{a_{21}}{A + jB} \cdot \bar{u}_s \quad /3/$$

и т.д.

Глава III. Исследование процесса пуска частотно-управляемого электропривода

С учетом особенности лифтовой установки рассматриваются законы частотного управления. Поскольку привод лифтовых установок работает с большим числом пусков и торможений, то определяющим фактором является его нагрев. Суммарные потери в двигателе с учетом кривой намагничивания определяются по выражению /в о.е./

$$\Delta p_{\Sigma}^* = a_{\text{ст.г}} \psi_s^{*2} \alpha^2 + a_{\text{ст.в}} \psi_s^{*2} \alpha'^2 + \frac{a_m}{B_m^2} t g^2 \left(\frac{\psi_s^*}{A_m} \right) + a_m \mu \left| \frac{\delta^4}{\delta \omega} \right. \quad /4/$$

Частота питающего напряжения обуславливает необходимую скорость двигателя, нагрузка - развиваемый им момент и только потокосцепление является тем параметром, которым можно варьировать с целью получения минимальных потерь в двигателе. Закон изменения потокосцепления для получения минимальных потерь имеет достаточно сложный вид и точная его реализация представляет сложную инженерную задачу. Поэтому была проведена минимизация численным методом для двигателя типа А02-42-6, в дальнейшем используемого для расчетов и проведения экспериментов. Результаты минимизации приведены на рис. 1 и 2. Их анализ говорит, что при достаточно большом изменении потокосцеплений двигатель работает в зоне близкой к оптимальной, особенно на низких частотах и при малых нагрузках. Сложность реализации закона управления по минимуму потерь заставляет обратить внимание на пропорциональные законы частотного управления $i/\psi = \alpha$, $E/\xi = \text{const}$ и т.д./ В работе показано, что целесообразнее использовать закон $E/\xi = \text{const}$, дающий, кроме того, конгруэнтное семейство механических характеристик, необходимых для "мягких" переходных процессов. При проведении эксперимента использовался серийный преобразователь частоты типа ТПЧ, система управления которого реализует выстроенный закон /т.е. $E/\xi = \text{const}$).

В общем виде закон изменения частоты в переходных процессах можно представить как

$$\alpha = \alpha_{\text{нач}} + \varepsilon(t) \cdot t, \quad /5/$$

где $\alpha_{\text{нач}}$ - начальная частота; $\varepsilon(t)$ - интенсивность изменения частоты во времени. Величину интенсивности можно определить из уравнения движения. Приводятся выражения для определения интенсивности при различных законах частотного управления. В общем случае интенсивность является величиной переменной. Анализ интенсивности показал, что, если двигатель развивает момент, равный номинальному критическому, при таких законах, как постоянство потокосцепления, $E/\xi = \text{const}$ или с компенсацией падения напряжения на обмотке статора, то ее величина постоянна. Например, для закона $E/\xi = \text{const}$ интенсивность вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\sum p}{4 R_3} |\bar{U}_{3H}|^2 \frac{a_{e1} a_{12} K_H^2}{a_{22} j_{q6} K_j} - \frac{M_H K_M}{j_{q6} K_j} \quad /6/$$

Такое управление дает линейное изменение частоты во времени, что облегчает его техническую реализацию в преобразователях частоты.

Электропривод лифтовых установок для удовлетворения требований комфортабельности должен создавать в переходных процессах постоянное ускорение /замедление/ кабины лифта. Это можно достичь, если его динамический момент будет постоянным. Для выбранного закона частотного управления, дающего конгруэнтное семейство механических характеристик, на основании линеаризации их устойчивых ветвей получено выражение для динамического момента

$$M_{дин} = j_{np} \frac{d\omega_{np}}{dt} = j_{np} \omega_{3H} \varepsilon + \left(\frac{\alpha_{нач} \omega_{3H} M_H}{\delta_H} - \varepsilon \omega_{3H} j_{np} - M_C \right) e^{-\frac{t}{T_H}} \quad /7/$$

Из формулы /7/ видно, что его вторая составляющая при $t \gg T_H$, что имеет место в реальных приводах, не оказывает практически влияния на динамический момент при заданных параметрах привода. Таким образом, динамический момент в основном определяется величиной интенсивности ε . Следовательно, задавая величину интенсивности, можно в разомкнутой системе привода получить необходимую величину ускорения и необходимое время переходных процессов, независящее от нагрузки привода. Это обстоятельство важно, поскольку момент нагрузки лифтовых установок хотя и не зависит от скорости, но изменяется в зависимости от загрузки кабины пассажирами и от места расположения ее в шахте лифта. Конкретный закон частотного управления, параметры двигателя и привода позволяют найти критическое значение интенсивности $\varepsilon_{кр}$, при которой будет еще происходить "мягкий" переходный процесс. Например, для закона

$$\varepsilon_{кр} \leq \frac{M_H \cdot K_M \cdot H + \sqrt{H \cdot K}}{H \cdot j_{q6} \cdot K_j} \quad /8/$$

$$\text{где } H = 16 R_s^2 a_{22}^2 \omega_{SH}^4, \quad K = 9 \rho^2 |\bar{E}_{SH}|^4 a_{12}^2 a_{21}^2$$

Сравнение этой величины с допустимой позволяет правильно выбрать значение интенсивности. Если допустимое значение меньше критического, то интенсивность выбирается равной допустимой. В противном случае ее следует принимать равной критической или воздействовать при прочих равных условиях на параметры двигателя или привода с целью получения критической интенсивности равной допустимой по технологическим соображениям.

На основании выбора закона и параметров частотного управления были приведены расчеты на ЦВМ типа "Мияск", для чего была разработана программа, учитывающая электромагнитные процессы двигателя. В расчетах гармонический состав выходного напряжения принимался соответствующим выходному напряжению используемого в эксперименте преобразователя. Фазовые портреты, характеризующие процессы пуска, приведены на рис.3. Для наглядности они даны при синусоидальном питающем напряжении. Из их рассмотрения видно влияние свободных составляющих токов в двигателе на его электромагнитный момент. Если не учитывать эти свободные составляющие, которые в основном не влияют на угловую скорость ротора, то можно считать, что переходные процессы происходят с постоянным динамическим моментом. Величина нагрузки не сказывается на значении динамического момента /сравн.кривые 1 и 2/, его величина определяется интенсивностью /сравн.кривые 1 и 6/. Расчеты на ЦВМ хорошо согласуются с экспериментальными данными и подтверждают сделанные теоретические предположения. Для примера на рис.4 приведены осциллограммы пуска частотноуправляемого привода с моментом сопротивления равным $+\frac{2}{3} M_H$ и $-\frac{2}{3} M_H$. Здесь независимо от характера момента время пуска одно и то же. Расчеты при несинусоидальном питающем напряжении подтвердили те же теоретические предположения о времени пуска и динамическом моменте. Показано, что высшие гармонические не влияют на угловую скорость двигателя, а только увеличивают его потери. Во всех случаях пуск привода осуществляется с конечного значения частоты, а это вызывает по известным причинам ударные электромагнитные моменты, неблагоприятно сказывающиеся на механическую часть привода. С целью их устранения предложена схема безударного пуска в системе "автономный инвертор напряжения - двигатель" путем создания начального пото-

ускорения в двигателе постоянным током.

Глава IV. Исследование процессов торможения частотноуправляемого электропривода

Процессы торможения имеют такое же важное значение для привода лифта, как и процессы пуска. Привод лифта характеризуется рекуперативным торможением с отдачей энергии в источник питания. На основании теории обобщенной машины получено следующее выражение для рекуперированной мощности

$$P_s = \frac{3}{2} |\bar{U}_s|^2 \frac{A \cdot b + a_{11} B \delta^2}{R_s (A^2 + B^2)} \quad /9/$$

по которому были исследованы режимы торможения с отдачей и потреблением энергии при различных законах частотного управления и величине нагрузки, а также влияние активного сопротивления в цепи статора. На рис. 5 представлены зависимости рекуперированной мощности при законе управления $E/f = \text{const}$ и разных величинах активного сопротивления в обмотке статора.

Граница между областями торможения с отдачей энергии и ее потреблением обозначена кривой АВ. Кривой СД обозначены значения оптимального скольжения, когда величина рекуперированной мощности максимальна. Величина оптимального скольжения может быть вычислена по формуле

$$\beta_{\text{опт}} = \frac{(b + a_{11} a_{22}) - \sqrt{(b + a_{11} a_{22})^2 + a_{22}^2 \omega_{\text{сн}}^2 \alpha^2}}{\omega_{\text{сн}}^2 \alpha} \quad /10/$$

При значительном снижении частоты $\alpha < 0,1$ в большинстве случаев практически отсутствует зона торможения с возвратом энергии в источник питания. Это объясняется возрастающим влиянием активного сопротивления обмотки статора. Дальнейшие исследования показали, что активное сопротивление существенно влияет на зону и величину рекуперированной мощности. Включение, например, в обмотку дополнительного сопротивления, равного величине ее активного сопротивления, сужает зону рекуперации энергии в источник в 2 раза, при этом сама величина мощности уменьшается в 1,2 раза /рис. 5/.

Рассмотрение тормозных процессов в системе "автономный инвертор - двигатель" начинается с установившегося тормозного режима, для чего были рассмотрены электромагнитные явления за период выходного напряжения. Установлено, что за этот промежуток времени силовая схема инвертора имеет 12 фиксированных положений, каждое из которых определяется состоянием тиристоров и вентиля моста обратного тока. В одних фиксированных состояниях схемы инвертора происходит накопление конденсатором энергии, отдаваемой приводом с одновременным ее рассеиванием в короткозамкнутом контуре, образованном вентилями моста обратного тока, тиристорами инвертора и обмоткой двигателя. В других - возбуждение двигателя за счет энергии конденсатора и рассеивание энергии в аналогичном короткозамкнутом контуре, образованном другой обмоткой двигателя. Причем, большое участие в рассеивании рекуперированной мощности принимают включенные последовательно с возвратным мостом активные сопротивления. При частотном торможении, осуществляемом за счет снижения частоты, места накопления и рассеяния энергии остаются теми же самыми. Основная роль в процессе торможения отводится величине интенсивности снижения частоты питающего напряжения. Как показали эксперименты, при больших интенсивностях, дающих время торможения $t_T \leq 0,5$ с, рекуперированная мощность не успевает рассеяться на элементах преобразователя, что приводит к значительному повышению напряжения на конденсаторе звена постоянного тока инвертора. Это, в свою очередь, приводит к повышению напряжения на двигателе и к его перевозбуждению. Интенсивности, дающие время торможения $t_T > 1,5 + 2$ с, позволяют рекуперированной мощности полностью рассеяться в преобразователе, а на двигателе величина напряжения поддерживается согласно заложенному закону частотного управления.

Таким образом, с достаточной степенью точности для расчетов частотных тормозных режимов можно применить метод, по которому проводились исследования процессов пуска частотноуправляемого привода. Результаты расчетов показали, что при торможении по тому же закону частотного управления, что и при пуске, процесс происходит с постоянным динамическим моментом, равным динамическому моменту при пуске /рис.3 $M_{дин.1} = M_{дин.2}$ /, и практически не зависит от величины нагрузки /рис.4 $t_{T1} = t_{T2}$ /. Следовательно, задавая величину интенсивности замедления частоты питающего двигателя напряжения, можно сформулировать тормозной режим с необходимым замед-

лением кабины лифта. Применение частотного торможения принципиально позволяет снизить величину посадочной скорости кабины лифта, на которой он подходит к месту остановки. Очень низкие посадочные скорости повышают точность остановки кабины на уровне этажа, улучшают работу механической части лифтовой установки, поскольку происходящая окончательная остановка кабины путем паложения механического тормоза при низких скоростях вызывает незначительные удары в кинематике лифта.

Таким образом, использование для лифтовых установок частотноуправляемого электропривода с управлением по закону, дающему конгруэнтное семейство механических характеристик, и с постоянной интенсивностью нарастания /уменьшения/ частоты дает возможность достаточно точно сформировать необходимую тахограмму.

Глава V. Исследование динамики частотноуправляемого электропривода с учетом упругих сил кинематических звеньев лифта

Механическая часть привода лифта не обладает абсолютной жесткостью, поэтому тахограмма движения двигателя не полностью отражает характер движения кабины.

Из всех механических звеньев привода наименьшей жесткостью обладают тяговые канаты, по сравнению с которыми остальные звенья могут быть приняты абсолютно жесткими. С учетом ряда допущений лифтовую установку можно представить трехмассовой системой, описываемой следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}
 m_k \frac{d^2 s_k}{dt^2} &= C_a (s_w - s_k) - F_{mp} \cdot a \\
 m_w \frac{d^2 s_w}{dt^2} &= F - (Q_k - G_{np}) - C_a (s_w - s_k) + C_a (s_{np} - s_w) \\
 m_{np} \frac{d^2 s_{np}}{dt^2} &= - C_a (s_{np} - s_w) - F_{mp} \cdot a
 \end{aligned}
 \quad /II/$$

Для решения этой системы линейных уравнений совместно с нелинейными уравнениями, описывающими поведение асинхронного двигателя, составлена программа расчета на ЦВМ. В расчеты вводилась зависимость к.п.д. редуктора, которая также является нелинейной функцией от скорости вращения и от направления передачи энергии.

По разработанной программе была рассчитана динамика лифта с двухскоростным и частотноуправляемым двигателями. Интерес представляет сравнение скоростей кабины лифта $V^*(t)$ / и двигателей $\omega_r^*(t)$ /, а также динамических усилий в канатах.

Анализ полученных результатов показывает, что переходные процессы в приводе с двухскоростным двигателем характеризуются большими ударными электромагнитными моментами, достигающими 4-х кратного значения по отношению к номинальному, значительными изменениями ускорения и существенными колебаниями скорости кабины. Величина ускорения хотя и не намного превышает допустимую норму $/2,1 \text{ м/с}^2 /$; нормированное значение $2 \text{ м/с}^2 /$, но быстро изменяется, особенно к концу пуска и в процессе всего торможения, что вызывает недопустимые величины рывков $/40 \pm 50 \text{ м/с}^3$; рекомендуемые $- 2 \pm 10 \text{ м/с}^3 /$. При этом колебания скорости кабины имеются не только в переходных режимах, но и после выхода ее в установившийся режим, особенно заметно это явление на посадочной скорости. Применение частотноуправляемого электропривода дает существенное улучшение динамики лифтовой установки. Во-первых, более равномерно распределяются колебания ускорения за время переходных процессов и уменьшается их величина /при прочих равных условиях в 1,5 раза - для пуска и в 3 раза - для торможения/. Равномерное распределение ускорения приводит к тому, что рывки не превышают рекомендуемые. Во-вторых, уменьшаются колебания скорости кабины в переходных режимах и быстро затухают после ее выхода на установившуюся скорость. В-третьих, уменьшаются и более равномерно распределяются динамические усилия в несущих канатах. Изложенное выше наглядно иллюстрируется одним из результатов исследований, приведенном на рис.7.

Глава VI. Исследование электропривода с частотным управлением при помощи управляющей модели

Применение частотноуправляемого электропривода для лифтовых установок дает возможность формирования заданной диаграммы с помощью управляющей модели. Сущность формирования состоит в том, что в системе управления приводом имеется модель, реализующая тахограмму по заданным величинам рывка и ускорения /замедления/. При этом управление может быть выполнено в разомкнутой или замк-

нутой системе. В разомкнутой системе выходная координата модели, в данном случае величина скорости, непосредственно подается в систему управления приводом, который обрабатывает эту координату. В замкнутой системе происходит сравнение выходной координаты модели с выходной координатой привода. Одновременно происходит сравнение промежуточных координат модели и привода, а именно, ускорения и рывка. Имеющиеся рассогласования координат воздействуют на систему управления частотноуправляемого привода в сторону их устранения. Аналитически показана возможность реализации такого управления в замкнутой системе для частотноуправляемого электропривода. Теоретические исследования управления приводом с помощью управляющей модели были проведены на ЦВМ, а экспериментальные – на системе "автономный инвертор напряжения – двигатель", управляющая модель которой была набрана на операционных усилителях. Результаты исследований полностью подтвердили способность модели управлять приводом по заданной тахограмме.

Частотноуправляемый электропривод с законом частотного управления $\omega/\omega_0 = \text{const}$ достаточно точно обрабатывает в разомкнутой системе заданную модель тахограмму /рис.8/. При этом ускорения привода превышают заданную модель величину примерно на 30%. Замкнутая система электропривода повышает точность отработки тахограммы /рис.9/. Особенно это благоприятно сказывается на ускорении, которое несущественно отличается от заданной величины. Следовательно, использование частотноуправляемого электропривода с управляющей моделью дает возможность создать с высокими по комфортабельности показателями лифтовые установки.

Глава УП. Разработка и исследование тиристорного преобразователя для квазичастотного управления асинхронным двигателем

С целью создания дешевого преобразователя для управления асинхронного двигателя в приводе тихоходных лифтов массового применения разработан и исследован лабораторный макет такого привода. Преобразователь представляет собой трехфазно-трехфазный однополупериодный циклоконвертор, позволяющий получить квазичастотный режим асинхронного двигателя. В реверсивном исполнении основная его часть содержит пять встречно-параллельных тиристоров

так же, как и преобразователь для фазового управления. Система управления собрана на элементах "Логика-Т" и на стандартных элементах. Экспериментально снятые механические характеристики привода показали, что они мало отличаются от механических характеристик при частотном управлении. Для получения достаточной перегрузочной способности введена обратная связь по потоку. Изучение электромагнитных процессов в приводе с квазичастотным управлением проведено аналого-физическим методом моделирования. Результаты исследований установили, что вращение годографов токов и напряжений статора и ротора имеет сложный характер, чем обуславливается и сложный вид электромагнитного момента двигателя. На рис.5 приведены осциллограммы тока ротора /б/, его годографа /в/ и электромагнитного момента двигателя /а/ при частоте питающего напряжения 8,3 Гц.

Двигатель по тепловому режиму при квазичастотном управлении на низких скоростях находится в более выгодном положении, чем при фазовом управлении. Это показало экспериментальное исследование энергетики двигателя.

В таблице I приведен коэффициент завышения габаритной мощности двигателя при фазовом и квазичастотном управлении.

Таблица I

Характеристика режима двигателя	Квазичастотное управление	Фазовое управление
Длительный	3,2	2I
Повторно-кратковременный	1,1	5 + 6

Значения коэффициента при фазовом управлении получены по данным трудов УПИ и ОПИ. Повторно-кратковременный режим двигателя оценивался режимом, у которого работа на номинальной скорости составляла 40%, а на пониженной - 15%, что характерно для лифтовых установок.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

I. На основании теории обобщенной машины получены выражения для токов, потокосцеплений, электромагнитного момента, механичес-

кой характеристики асинхронного частотноуправляемого электродвигателя, позволяющего упростить аналитическую запись законов частотного управления.

2. Показано, что для механизмов, у которых момент сопротивления не зависит от скорости, с целью получения постоянного по величине динамического момента целесообразно применение частотноуправляемого электропривода с законами управления, дающими конгруэнтное семейство механических характеристик. При этом величина динамического момента в "мягких" переходных режимах практически не зависит от момента нагрузки, а определяется, главным образом, величиной постоянной интенсивности нарастания частоты питающего напряжения. Предложена методика для расчета этой интенсивности при различных законах частотного управления.

3. Разработана программа расчета на ЦВМ переходных режимов в асинхронном частотноуправляемом электроприводе с учетом электромагнитных процессов двигателя, описываемых дифференциальными уравнениями в системе координат, неподвижных относительно статора.

4. Исследована динамика лифта и его электропривода с учетом упругих сил канатов, для чего составлена программа ее расчета на ЦВМ. Показано, что применение частотноуправляемого электропривода существенно улучшает динамику работы лифта и повышает комфортабельность передвижения пассажиров.

5. Предложена система частотноуправляемого электропривода с управляющей моделью, позволяющая наиболее точно отработать необходимую тахограмму движения лифтовой установки.

6. Создан и экспериментально исследован тиристорный преобразователь для квазичастотного управления асинхронным двигателем. Получены жесткие механические характеристики привода с таким управлением на низких частотах без обратной связи по скорости.

7. Результаты исследований и расчетные соотношения, полученные в диссертационной работе, использовались при разработке и исследовании тиристорного регулируемого асинхронного электропривода механизма передвижения кабины пассажирского лифта, а также при проектировании и внедрении тиристорного преобразователя асинхронного электропривода для механизма подъема одного из объектов ин-

ститута Ядерной энергетики АН БССР.

Основное содержание диссертации опубликовано в олодующих работах:

1. Регулируемый асинхронный привод с тиристорным преобразователем частоты. "Автоматизированный электропривод". МДИП, 1972.
2. Электромагнитные процессы асинхронного двигателя при не-синусоидальном питающем напряжении на электронной модели. "Источники и потребители переменного тока повышенной частоты". "Штиинца", Кишинев, 1972.
3. Работа частотноуправляемого асинхронного двигателя в режиме рекуперативного торможения. "Изв. ВУЗов - Электромеханика", № 1, 1974.
4. О механической характеристике асинхронного двигателя при конденсаторном торможении. "Изв. ВУЗов - Энергетика", № 7, 1974.
5. Исследование процесса пуска асинхронного электропривода. Сб. "Электроэнергетика", Минск, № 4, 1974.
6. О механической характеристике асинхронного двигателя. Труды 5-й научно-методической конференции по электрическим машинам. Томск, 1974.
7. Оптимальное управление асинхронным электроприводом по минимуму потерь с учетом кривой намагничивания. Материалы УШ научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства. Том IV. Томск, 1974.
8. Переходные процессы асинхронного электродвигателя при питании его от преобразователя частоты. "Электроэнергетика и автоматика", № 19, 1974; "Штиинца", Кишинев, 1974.
9. Расчет переходных процессов частотноуправляемого асинхронного двигателя на ЦВМ. Сб. "Научные и прикладные проблемы энергетики", вып. 2, Минск, 1975.

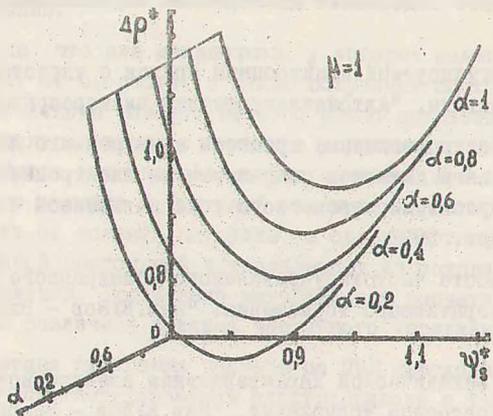


Рис. 1

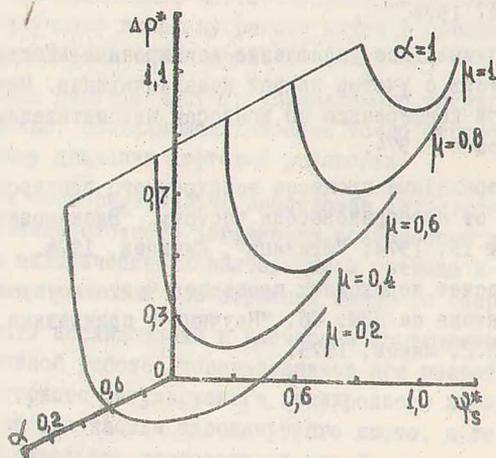


Рис. 2

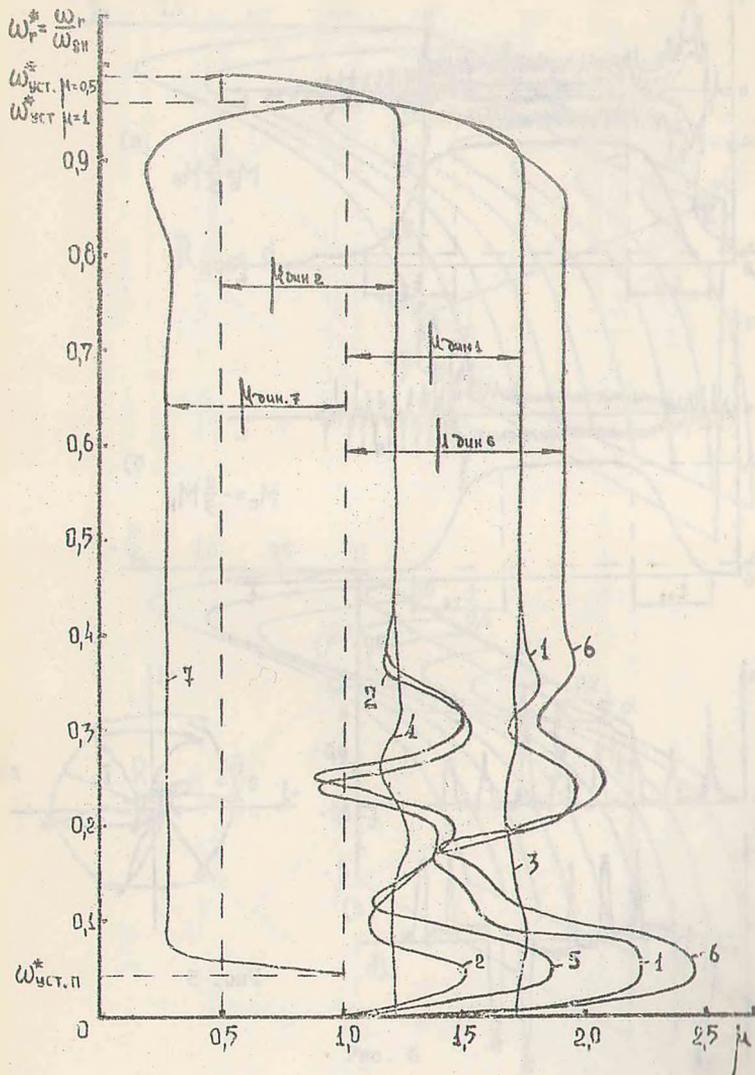


Рис. 3

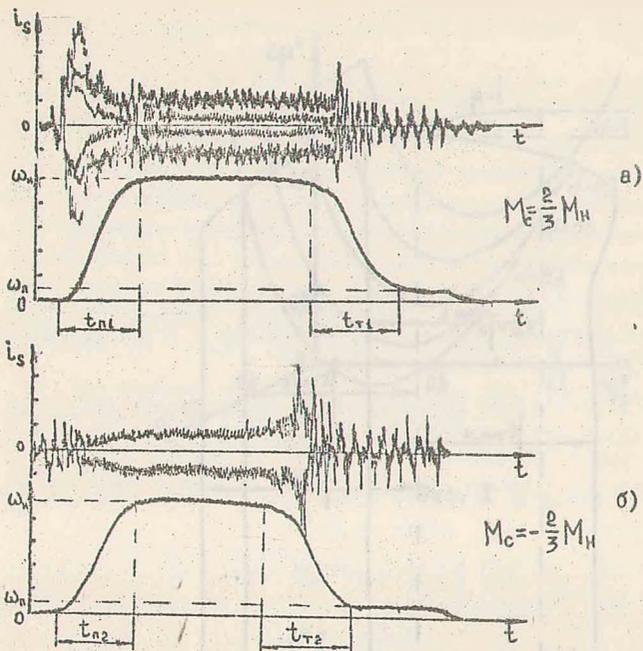


Рис. 4

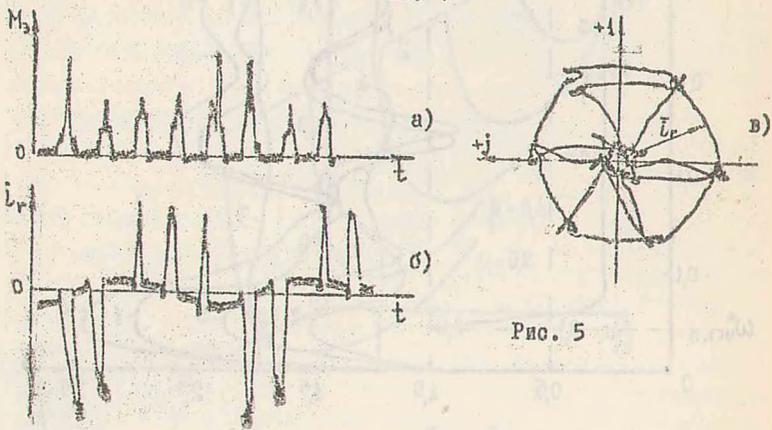
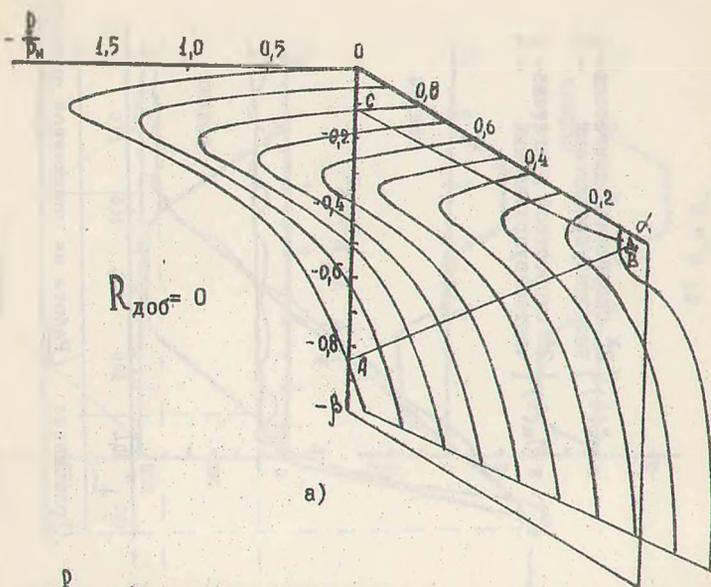
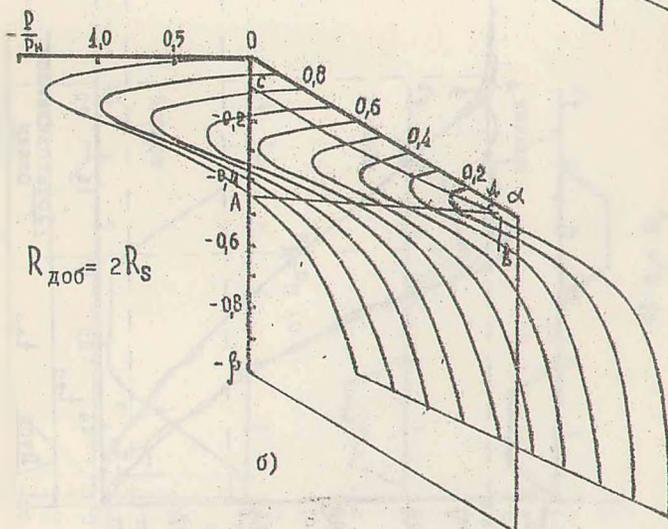


Рис. 5



а)



б)

Рис. 6

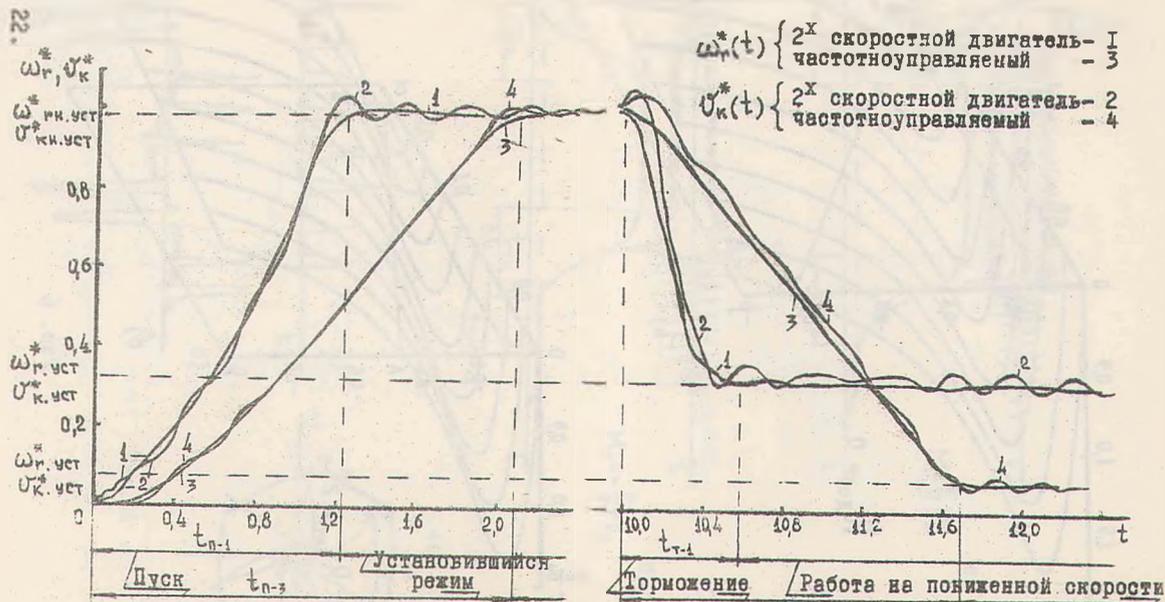
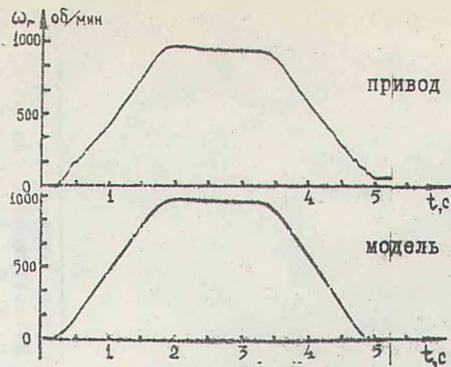
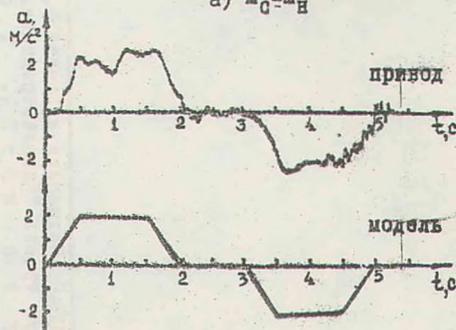


Рис. 7

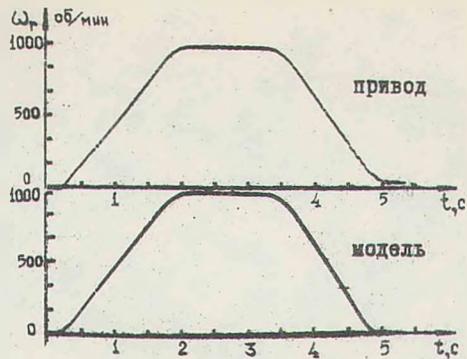


а) $M_C = M_H$

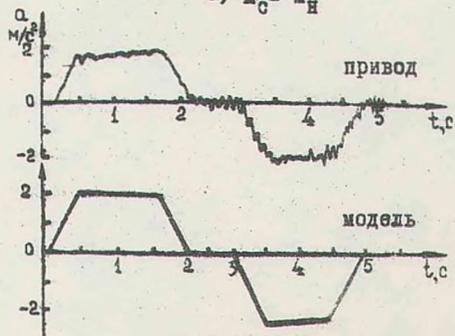


б) $M_C = M_H$

Рис. 8



а) $M_C = M_H$



б) $M_C = M_H$

Рис. 9