

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ В НЕФТЕПРОВОДАХ**

**Тергемес К.Т., Балекова А.А., Савельев В.Н**

*Көрсетілген жұмыста бірнеше магистральдық сорғылардың параллель жұмыс істеу жолдары қарастырылған. Көпқозғалтқышты асинхронды электр жетектерінің жиілік түрлендіргіштермен құрылымдық схемалары ұсылынған. Үш жиілік түрлендіргішті асинхронды электроқозғалтқышты электр жетегін сипаттайтын дифференциалдық теңдеулері құрылған. MATLAB пакетті программасымен алынған өтпелі үрдістерді шешу нәтижелері көрсетілген. Нәтижесінде әр түрлі жүктемелері үш жиілік түрлендіргішті асинхронды электржетектен тұратын жүйе қозғалтқыштарының синхронды айналуы қамтамасыз етіледі.*

*The article deals with the variants of joint action of several main pump sets. The structural scheme of multifunctional asynchronous electro driving of pump sets with converters frequency is given in the article. The differential equations describing MAEP with converts frequency which consist of three asynchronous engines and the results of calculation of transition processes by the program Mat lab are made here. It also shows that the received system of three – engine asynchronous electro drive with converters frequency sustain synchronous rotation of electro drives in different statistical leading.*

Головные нефтеперекачивающие насосные станции служат для перекачки нефти и нефтепродуктов из резервуарных парков в магистральной трубопровод, а промежуточные станции для повышения давления, перекачиваемых продуктов в магистральном трубопроводе. И, как правило, каждая насосная станция имеет три основных и один резервный насосный агрегат, работающих либо индивидуально, либо параллельно, в зависимости от необходимой подачи [1].

В составе технологических схем перекачки нефти по нефтепроводам одновременно могут работать один, два или три насосных агрегатов, установленных вдоль по нефтеперекачивающей линии.

Совместная работа нескольких магистральных насосных агрегатов может быть вызвана следующими причинами:

- один насосный агрегат не может обеспечить требуемую подачу или давление, а замена его другими, более мощным, невозможно;
- требуется обеспечить надежность работы всей системы в целом.

Включение магистральных насосных агрегатов на совместную работу может быть параллельным, полупараллельным. (рисунок 1 а,б,в).

Параллельное включение двух и большего числа насосных агрегатов рекомендуется тогда, когда требуется увеличение подачи нефтепроводов, а соответствующее увеличение частоты вращения рабочего колеса или размеров насосных агрегатов невозможно из-за чрезмерного усиления шума, конструктивных или архитектурно-планировочных причин. [2]

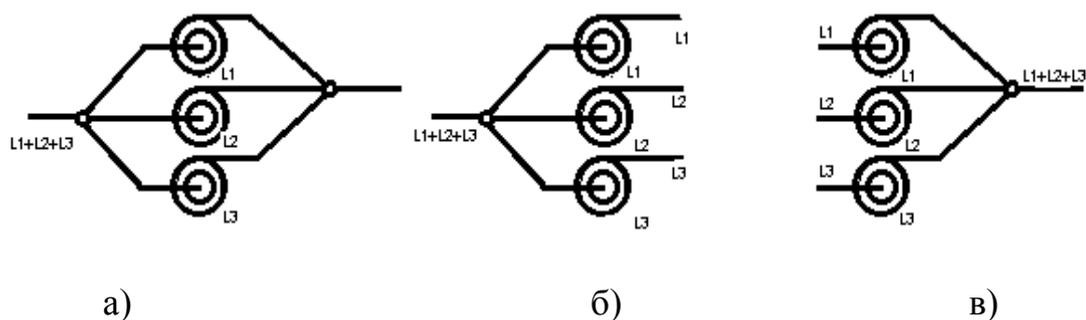


Рис.1 Схема включения магистральных насосных агрегатов

В то же самое время изменение подачи насосных агрегатов можно произвести электрическим путем, запитыванием приводных двигателей от преобразователей частоты, которые позволяют плавно регулировать частоту вращения асинхронного (или синхронного) электродвигателя насоса и поддерживать давление в гидросистеме при разных расходах, перекачиваемой жидкости.

При малых расходах жидкости двигатель насоса вращается с малой скоростью, необходимой только для поддержания номинального давления, и не расходует лишней энергии. При увеличении расхода перекачиваемой жидкости преобразователь увеличивает частоту вращения электродвигателя, повышая производительность насоса при сохранении заданного давления.

В пределах рабочего участка механических характеристик описание асинхронных двигателей, используемых в насосных агрегатах производится в упрощенном порядке. Для составления структурной схемы воспользуемся дифференциальным уравнением [3]:

$$(1 + T_{\omega} p)M = \beta(\omega_0 - \omega) \quad (1)$$

где:  $T_{\omega}$  – постоянная времени;  $\beta = \frac{2M_K}{\omega_{ном} S_K}$  – модуль жесткости;

$M_K, S_K$  – соответственно критический момент и момент скольжения.

На рисунке 2 представлена структурная схема многодвигательного асинхронного электропривода (МАЭП) насосных агрегатов, включенных параллельно с преобразователями частоты (ПЧ), составленной на основании известной структурной схемы системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ-АД) с отрицательной обратной связью [4].

Структурная схема МАЭП с ПЧ, составленная с учетом взаимосвязей между двигателями с обратными связями по скоростям и с общим задающим сигналом, позволяет разработать методику расчета коэффициентов обратных связей по скоростям трехдвигательного электропривода с преобразователями частоты, а также анализировать переходные процессы при различных значениях коэффициентов обратной связи и моделировать всевозможные режимы работ МАЭП с ПЧ СВ.

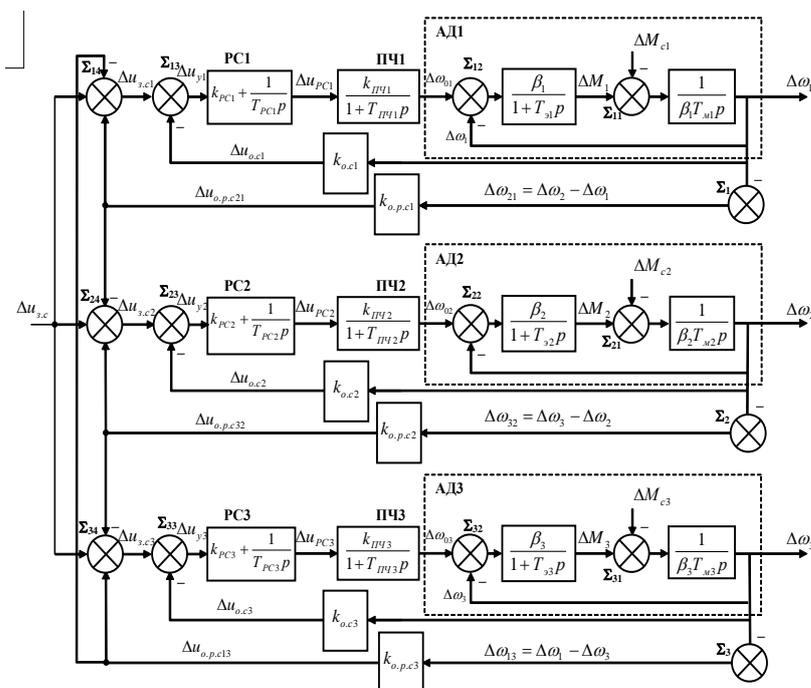


Рис. 2 – Структурная схема трехдвигательного асинхронного электропривода насосных агрегатов по системе ПЧ-АД с обратной связью по скорости, подключенных по параллельной схеме.

Дифференциальные уравнения, описывающие МАЭП с ПЧ, состоящих из трех асинхронных двигателей согласно структурной схеме имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} p\Delta\omega_1 = \frac{1}{\beta_1 T_{\text{м1}}} M_1 - \frac{1}{\beta_1 T_{\text{м1}}} M_{\text{с1}}; \\ pM_1 = \frac{\beta_1}{T_{\text{э1}}} \Delta\omega_{01} - \frac{\beta_1}{T_{\text{э1}}} \Delta\omega_1 - \frac{1}{T_{\text{э1}}} M_1; \\ p\Delta\omega_{01} = \frac{k_{\text{ПЧ1}}}{T_{\text{ПЧ1}}} \Delta u_{\text{PC1}} - \frac{1}{T_{\text{ПЧ1}}} \Delta\omega_{01}; \\ p\Delta u_{\text{PC1}} = \frac{k_{\text{PC1}} k_{\text{o.p.c1}}}{\beta_2 T_{\text{м2}}} (M_2 - M_{\text{с2}}) - \frac{k_{\text{PC1}} (k_{\text{o.p.c1}} + k_{\text{o.p.c3}} + k_{\text{o.c1}})}{\beta_1 T_{\text{м1}}} (M_1 - M_{\text{с1}}) + \\ + \frac{k_{\text{PC1}} k_{\text{o.p.c3}}}{\beta_3 T_{\text{м3}}} (M_3 - M_{\text{с3}}) + \frac{\Delta u_3}{T_{\text{PC1}}} + \frac{k_{\text{o.p.c1}}}{T_{\text{PC1}}} \Delta\omega_2 - \frac{k_{\text{o.p.c1}} + k_{\text{o.p.c3}} + k_{\text{o.c1}}}{T_{\text{PC1}}} \Delta\omega_1 + \frac{k_{\text{o.p.c3}}}{T_{\text{PC1}}} \Delta\omega_3; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p\Delta\omega_2 = \frac{1}{\beta_2 T_{\text{м2}}} M_2 - \frac{1}{\beta_2 T_{\text{м2}}} M_{\text{с2}}; \\ pM_2 = \frac{\beta_2}{T_{\text{э2}}} \Delta\omega_{02} - \frac{\beta_2}{T_{\text{э2}}} \Delta\omega_2 - \frac{1}{T_{\text{э2}}} M_2; \\ p\Delta\omega_{02} = \frac{k_{\text{ПЧ2}}}{T_{\text{ПЧ2}}} \Delta u_{\text{PC2}} - \frac{1}{T_{\text{ПЧ2}}} \Delta\omega_{02}; \\ p\Delta u_{\text{PC2}} = \frac{k_{\text{PC2}} k_{\text{o.p.c2}}}{\beta_3 T_{\text{м3}}} (M_3 - M_{\text{с3}}) - \frac{k_{\text{PC2}} (k_{\text{o.p.c2}} + k_{\text{o.p.c1}} + k_{\text{o.c2}})}{\beta_2 T_{\text{м2}}} (M_2 - M_{\text{с2}}) + \\ + \frac{k_{\text{PC2}} k_{\text{o.p.c1}}}{\beta_1 T_{\text{м1}}} (M_1 - M_{\text{с1}}) + \frac{\Delta u_3}{T_{\text{PC2}}} + \frac{k_{\text{o.p.c2}}}{T_{\text{PC2}}} \Delta\omega_3 - \frac{k_{\text{o.p.c2}} + k_{\text{o.p.c1}} + k_{\text{o.c2}}}{T_{\text{PC2}}} \Delta\omega_2 + \frac{k_{\text{o.p.c1}}}{T_{\text{PC2}}} \Delta\omega_1; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p\Delta\omega_3 = \frac{1}{\beta_3 T_{\text{м3}}} M_3 - \frac{1}{\beta_3 T_{\text{м3}}} M_{\text{с3}}; \\ pM_3 = \frac{\beta_3}{T_{\text{э3}}} \Delta\omega_{03} - \frac{\beta_3}{T_{\text{э3}}} \Delta\omega_3 - \frac{1}{T_{\text{э3}}} M_3; \\ p\Delta\omega_{03} = \frac{k_{\text{ПЧ3}}}{T_{\text{ПЧ3}}} \Delta u_{\text{PC3}} - \frac{1}{T_{\text{ПЧ3}}} \Delta\omega_{03}; \\ p\Delta u_{\text{PC3}} = \frac{k_{\text{PC3}} k_{\text{o.p.c3}}}{\beta_1 T_{\text{м1}}} (M_1 - M_{\text{с1}}) - \frac{k_{\text{PC3}} (k_{\text{o.p.c3}} + k_{\text{o.p.c2}} + k_{\text{o.c3}})}{\beta_3 T_{\text{м3}}} (M_3 - M_{\text{с3}}) + \\ + \frac{k_{\text{PC3}} k_{\text{o.p.c2}}}{\beta_2 T_{\text{м2}}} (M_2 - M_{\text{с2}}) + \frac{\Delta u_3}{T_{\text{PC3}}} + \frac{k_{\text{o.p.c3}}}{T_{\text{PC3}}} \Delta\omega_1 - \frac{k_{\text{o.p.c3}} + k_{\text{o.p.c2}} + k_{\text{o.c3}}}{T_{\text{PC3}}} \Delta\omega_3 + \frac{k_{\text{o.p.c2}}}{T_{\text{PC3}}} \Delta\omega_2. \end{array} \right.$$

где:  $\beta_{1,2,3}$  – модули жесткости линеаризованной характеристики АД

$T_{\text{э1,2,3}}$  – эквивалентные электромеханические постоянные

$k_{\text{ПЧ1,2,3}}$  – коэффициенты передаточной функции преобразователей частоты

$T_{пч1,2,3}$  – постоянные времени цепи управления преобразователей частоты

$T_{м1,2,3}$  – электромеханические постоянные времени двигателей

$K_{oc1,2,3}$  – коэффициенты обратной связи электропривода

Для таких сложных многодвигательных асинхронных электроприводов целесообразно использовать прикладные пакеты моделирования, например, для параллельно включенных насосных агрегатов для перекачки жидкости, воды, нефти и т.д. Среди них лидирующее положение для исследования динамических систем занимают пакеты Matlab и Simulink фирмы Mathwork. Библиотека блоков Sim Power System является одной из множеств библиотек, ориентированных на моделирование устройств силовой электроники, преобразовательной техники, электрических машин и электроприводов. Достоинством Sim Power System является то, что сложные электромеханические системы такие, как многодвигательные асинхронные электроприводы с преобразователями частоты можно моделировать, сочетая методы виртуального и структурного моделирования.

Результаты расчета переходных процессов приведены пакетом прикладных программ Matlab на рисунках 3 – 7.[5]

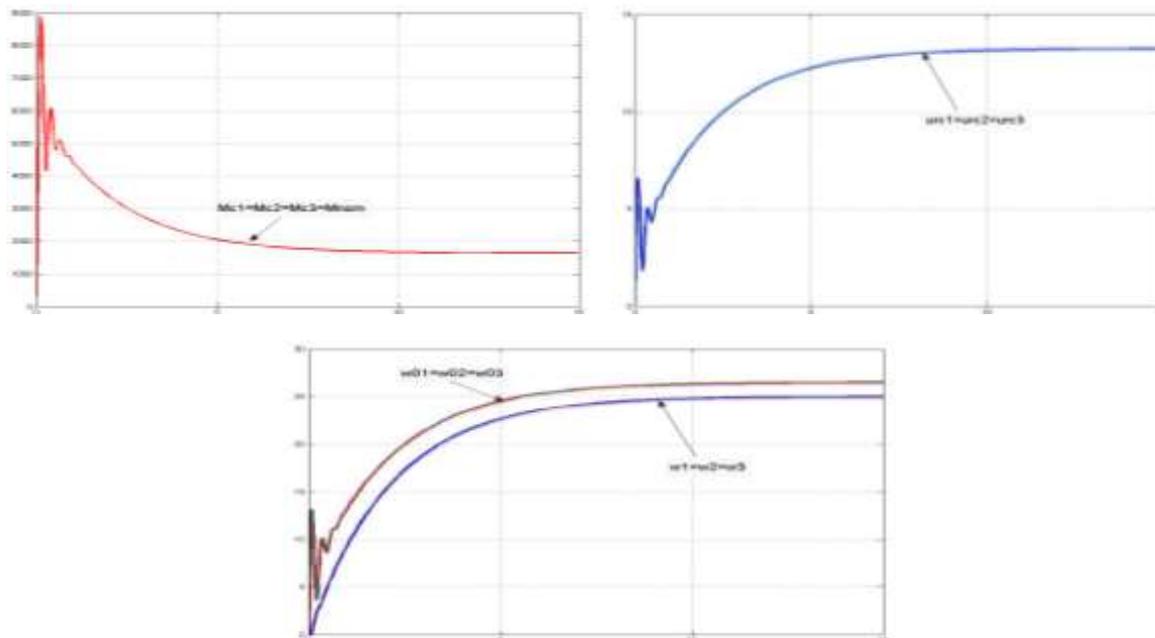


Рис. 3 – Осциллограммы переходных процессов трехдвигательного асинхронного электропривода с ПЧ при  $M_{c1}=M_{c2}=M_{c3}=M_{ном}$ .

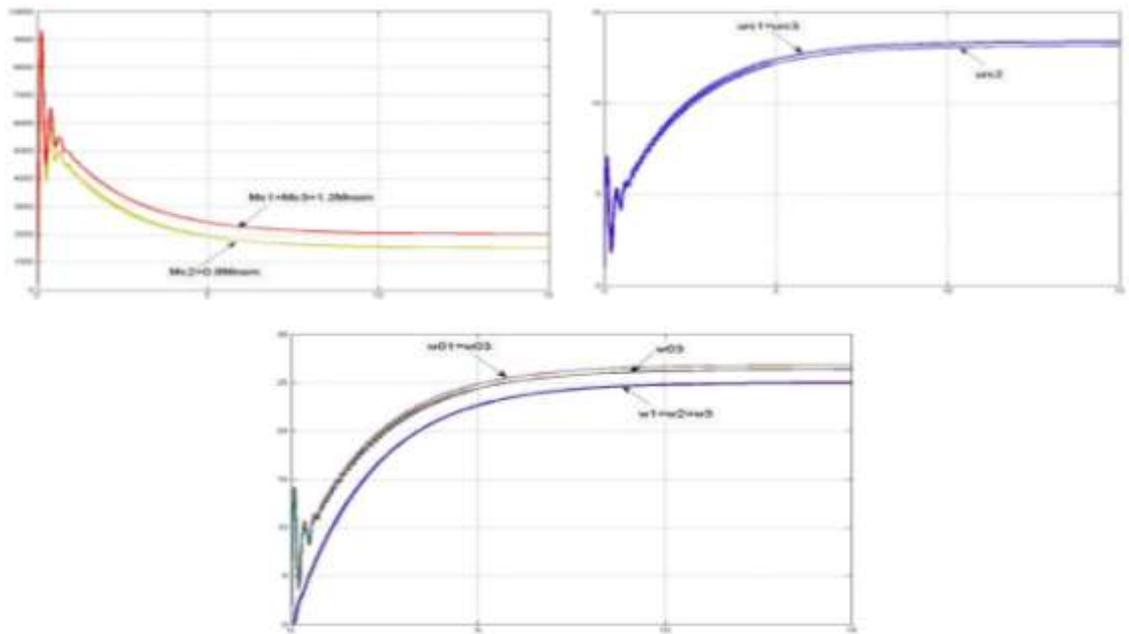


Рис.4 – Осциллограммы модели трехдвигательного асинхронного электропривода с ПЧ при  $M_{c2} = 0,9M_{nom}$ ,  $M_{c1} = M_{c3} = 1,2M_{nom}$ .

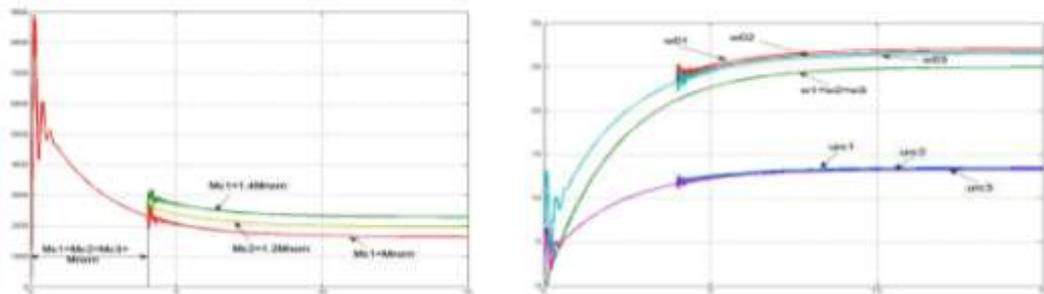


Рис. 5 – Осциллограммы переходных процессов трехдвигательного асинхронного электропривода с ПЧ при  $M_{c1} = M_{c2} = M_{c3} = M_{nom}$  до  $t = 4с$  и различных статических нагрузок во время  $t = 4с$ .

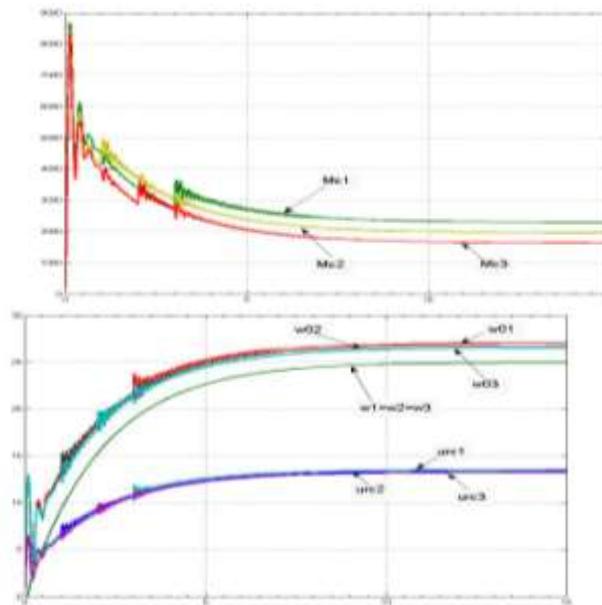


Рис. 6 – Осциллограммы модели при различных статических нагрузках двигателей во время  $t=1с$ ,  $t=2с$ ,  $t=3с$ .

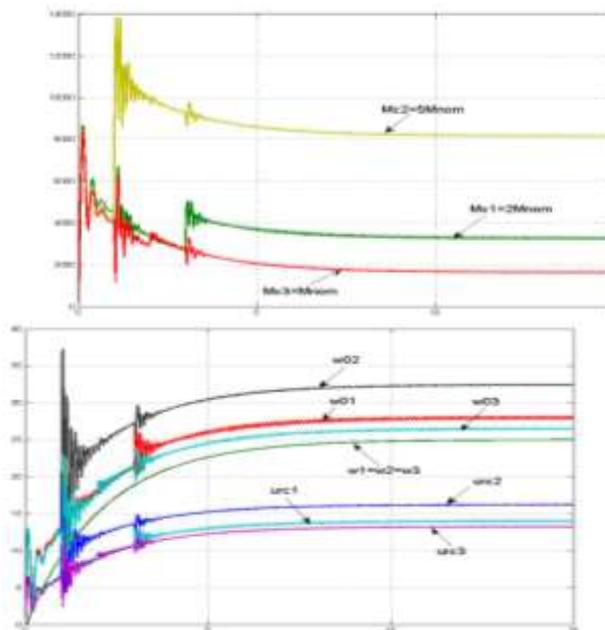


Рис. 7 – Осциллограммы модели при различных статических нагрузках на двигателей во время  $t=1с$ ,  $t=2с$ ,  $t=3с$  при большой разнице статических нагрузок.

Как видно из полученных переходных процессов, при различных значениях статических нагрузок на валу электродвигателей МАЭП с ПЧ система трехдвигательного асинхронного электропривода с преобразователями частоты сохраняет устойчивое вращение электродвигателей с одинаковыми угловыми скоростями. При номинальных

статических нагрузках на валу электродвигателей, в соответствии с рисунком 6, сигналы с выходов преобразователей частоты ПЧ1-3, регуляторов скоростей РС1-3 равны ( $\Delta\omega_{01} = \Delta\omega_{02} = \Delta\omega_{03}$  и  $\Delta u_{PC1} = \Delta u_{PC2} = \Delta u_{PC3}$ ), соответственно скорости двигателей также будут равными  $\Delta\omega_1 = \Delta\omega_2 = \Delta\omega_3$ . При равных статических нагрузках первого и третьего двигателей со значениями  $\Delta M_{c1} = \Delta M_{c3} = 1.2M_{ном}$  и меньшей статической нагрузки второго двигателя со значением  $\Delta M_{c2} = 0.9M_{ном}$ , в соответствии с рисунком 4 скорости первого, второго и третьего двигателей выравниваются за счет подачи повышенного сигнала с выхода регулятора скорости РС2, соответственно и с выхода преобразователя частоты ПЧ2 на АД2, тем самым обеспечивая синхронное вращение электродвигателей МАЭП. В тоже самое время сигналы с выходов регуляторов скоростей РС1 и РС3, преобразователей частоты ПЧ1 и ПЧ3 остаются одинаковыми. На рисунке 5 после пуска МАЭП с ПЧ в течении времени  $t=4с$  статическая нагрузка двигателей равна номинальной ( $\Delta M_{c1} = \Delta M_{c2} = \Delta M_{c3} = M_{ном}$ ).

Был смоделирован наброс нагрузки с различными статическими нагрузками ( $\Delta M_{c1} = 1.4M_{ном}$ ,  $\Delta M_{c2} = 1.2M_{ном}$ ,  $\Delta M_{c3} = M_{ном}$ ). При этом, как видно из графиков рисунка 4, сигналы с РС1 и ПЧ1, с РС2 и ПЧ2 повышаются, а сигналы с РС3 и ПЧ3 остаются неизменными. На рисунках 6,7 приведены кривые, отличающиеся только величиной разницы статических нагрузок электродвигателей. При моделировании максимальная разница статических нагрузок электродвигателей в соответствии с рисунком 7, составила:

$$\Delta M_{c2} - \Delta M_{c1} = 2M_{ном};$$

$$\Delta M_{c3} - \Delta M_{c2} = 4M_{ном};$$

$$\Delta M_{c1} - \Delta M_{c3} = 2M_{ном}.$$

Результаты экспериментов показывают, что полученная система трехдвигательного асинхронного электропривода с преобразователями частоты при различных статических нагрузках, не смотря на существенные различия статических моментов, поддерживает синхронное вращение электродвигателей.

### Литература:

1. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Установ Д.А. Электроснабжение нефтегазовых предприятий. Уч. пособие . Изд.ПГГИ, С-Пб, 2008.-81с.
2. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.И. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов.М.; АСАРЕМА, 2004, - 575с

3. Ключев В.И. Теория электропривода.-М., Энергоиздат, 1998 -704с
4. Терехов В.Н., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2006.-300с.
5. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 7.0: Учебное пособие, – Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2001.