

УДК 621.873.01

UDC 621.873.01

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ  
«ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ» НАСОСОВ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С АДАПТИВНЫМ АЛГОРИТМОМ УПРАВЛЕНИЯ**

**IMITATING THE MODEL OF THE FREQUENCY CONVERTER - INDUCTION MOTOR OF A PUMP WATER SYSTEM WITH ADAPTIVE CONTROL ALGORITHM**

Таранов Дмитрий Михайлович  
кандидат технических наук  
РИНЦ SPIN-код:1411-9153

Taranov Dmitry Michailovich  
Candidate of Technical Sciences  
RSCI SPIN-code: 1411-9153

Каун Олег Юрьевич  
РИНЦ: SPIN-код:3064-1201

Kaun Oleg Yurievich  
RSCI SPIN-code: 3064-1201

Гетманенко Владимир Михайлович  
кандидат технических наук  
РИНЦ: SPIN-код:2450-8104

Getmanenko Vladimir Michailovich  
Candidate of Technical Sciences  
RSCI SPIN-code: 2450-8104

Лебедев Константин Николаевич  
кандидат технических наук  
РИНЦ: SPIN-код:7637-7693

Lebedev Konstantin Nikolayevich  
Candidate of Technical Sciences  
RSCI SPIN-code: 7637-7693

Литвинов Владимир Николаевич  
кандидат технических наук  
РИНЦ: SPIN-код:1021-5284

Litvinov Vladimir Nikolayevich  
Candidate of Technical Sciences  
RSCI SPIN-code: 1021-5284

Старовойт М.Ю.  
магистрант кафедры ИТ и УС  
*Азово-Черноморский инженерный институт  
ФГБОУ ВПО ДГАУ в г. Зернограде, г.Зерноград,  
Ростовская область, Россия*

Starovoit Michail Yurievich  
postgraduate student of the Department of IT and CS  
*Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEI HPE  
Don State Agrarian University in Zernograd, Zernograd,  
the Rostov region, Russia*

В данной статье приводятся основные системы водоснабжения, и обосновывается выбор прямой системы водоснабжения при применении регулируемого электропривода насосов, которая не имеет дополнительных резервуаров для создания давления, которые необходимы только для пожарных целей. Таким образом, исключается перебой водоснабжения при замерзании данного резервуара. В статье проведено обоснование необходимости внедрения адаптивного алгоритма в современные преобразователи частоты путем обоснования количества ступеней регулирования соотношения напряжение-частоты питающей сети. Выявлено, что при количестве степеней регулирования более 10-12 наступает оптимум. Современные преобразователи частоты позволяют изменять закон управления, устанавливая 3-5 точек регулирования. Поэтому внедрение адаптивного алгоритма позволит снизить энергопотребления электропривода насосов системы водоснабжения.

This article presents main water supply systems and justifies the choice of direct flow of water supply system in the application of regulation of electric drive for pumps, which doesn't have any tanks to create pressures required for fire-governmental purposes. This avoids interruption in the supply of reserve while water freezing. In the article the substantiation of the necessity of implementation of adaptive algorithm in modern-WIDE frequency converters by a substantiation of the number of stages of ratio control of voltage-frequency mains. It was revealed that the number of degrees of regulation of 10-12 gives optimum. Modern frequency converters allow you to change the regulation law, establishing 3-5 points of regulation. Therefore, the introduction of adaptive algorithm will reduce the power consumption of the electric drive of the pump of the water supply system. The article shows the simulation model of the "the converter frequency-induction motor," plots of the stator current of mains frequency and active power, surface speed and phase current when changing the voltage and frequency of the mains. These dependences confirm to have applicability of adaptive algorithm in the regulation of modern frequency converters with the skalar admin-

Приведена имитационная модель системы «преобразователь частоты-асинхронный двигатель», графики зависимостей тока статора от частоты питающей сети и активной мощности, поверхности

зависимостей частоты вращения и фазного тока при изменении напряжения и частоты питающей сети. Данные зависимости подтверждают применимость адаптивного алгоритма в управлении современными преобразователями частоты при скалярном управлении. Имитационная модель подтверждает физические эксперименты на реальном двигателе и преобразователе частоты с адаптивным алгоритмом управления. В результате подбора параметром напряжения мы получаем уменьшения фазного тока и уменьшения потребления электрической энергии на 5-7%

Ключевые слова: СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ, КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

istration. Simulation model confirms the sub-physical experiments on a real motor and frequency converter with adaptive control algorithm. As a result of the selection of the parameters, we obtain the voltage reduction of the phase current, and reduce electricity consumption by 5-7%

Keywords: WATER SUPPLY SYSTEM, CONVERTED VATEL FREQUENCY, ADAPTIVE ALGORITHM, COMPUTER MODEL, ENERGY CONSERVATION

Энергосбережение в системах водоснабжения в настоящее время является актуальной задачей, так позволяет не только экономить электроэнергию и воду, но и сократить перебои с водоснабжением в связи с авариями водопровода.

Одним из путей энергосбережения является создание энергосберегающих электроприводов, позволяющих максимально возможно снижать потребление электрической энергии, обеспечивая при этом максимальный КПД насосного агрегата.

В настоящее время применяются системы башенного, резервуарного и прямоточного водоснабжения [3]. Недостаток систем башенного и резервуарного водоснабжения состоит в том, что для создания напора в системе водоснабжения используется башня или резервуар. В то время как в прямоточной системе водоснабжения башня или резервуар служит только для противопожарных нужд, а давление в трубопроводе создается самим электроприводом насоса.

Применение прямоточной системы водоснабжения снижает аварийность, вызванную дополнительным элементом системы, создающим давление в системе водоснабжения.

На Рисунок 1 представлено суточное потребление воды животноводческого комплекса на 100 коров, на котором видно неравномерность

потребления в разное время суток. В связи с такой неравномерностью воды нерегулируемый электропривод будет потреблять чрезмерное количество электроэнергии в часы наименьшего водопотребления.

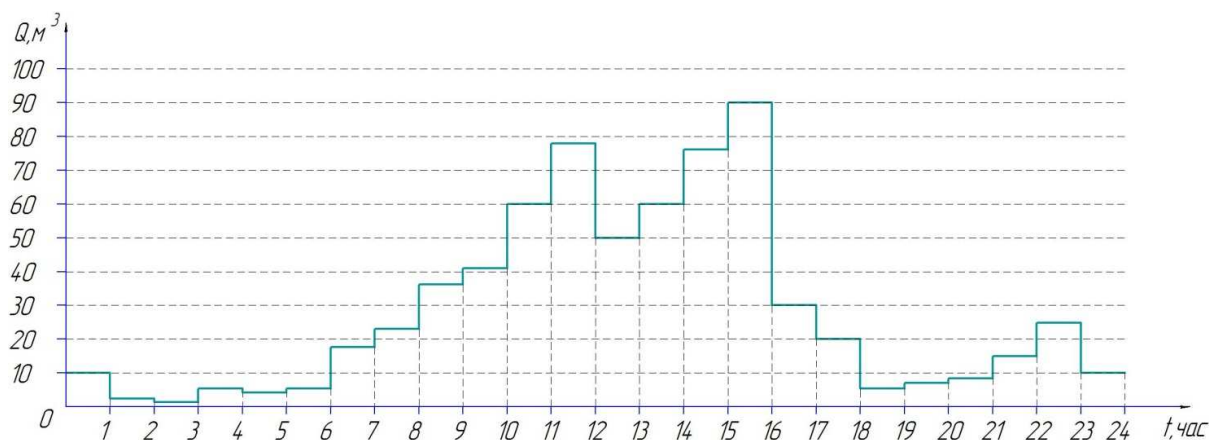


Рисунок 1 - Суточный график потребления воды животноводческого комплекса на 100 коров

Применение регулируемого электропривода позволит также сократить энергопотребление в связи с тем, что при малом потреблении воды будет снижаться частота вращения до значения, необходимого для обеспечения

В качестве электроприводов применяют асинхронные электродвигатели переменного тока. Основное их преимущество это простота конструкции и дешевизна их производства.

В качестве недостатка можно выделить большие пусковые токи и сложность регулирования.

Наиболее перспективным направлением на сегодняшний день является применение преобразователей частоты с промежуточным звеном постоянного тока для асинхронного электропривода. Данные преобразователи обеспечивают регулирование в широком диапазоне частот, что важно для адаптации водопотребления под минимальные расходы воды.

В современных преобразователях частоты заложено несколько алгоритмов управления, которые не являются оптимальными, так как позволяют программировать закон регулирования по 3-5 точкам функции  $U(f)$ .

Из расчетных значений количества ступеней закона регулирования электропривода было выявлено, для задания закона регулирования в преобразователе частоты при графике водопотребления животноводческой фермы, оптимальным является количество точек 10-12 функции  $U(f)$ , показанное на рисунке 3.

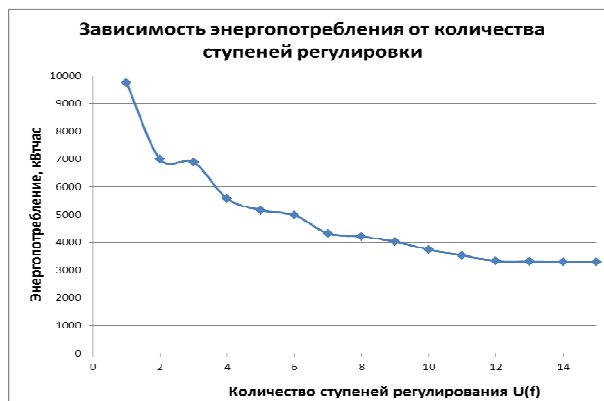


Рисунок 3 – Зависимость энергопотребления от количества ступеней закона регулирования  $U(f)$

Такое количество точек не позволяют настраивать современные преобразователи частоты, поэтому был составлен адаптивный алгоритм управления, описанный в [1], в котором в качестве оптимизируемого параметра была активная составляющая тока статора.

На основе адаптивного алгоритма была составлена компьютерная модель в системе MATLAB, в которой производится регулирование напряжения при постоянной частоте питающей сети для насоса K8/18 с электродвигателем мощностью 1,5 кВт.

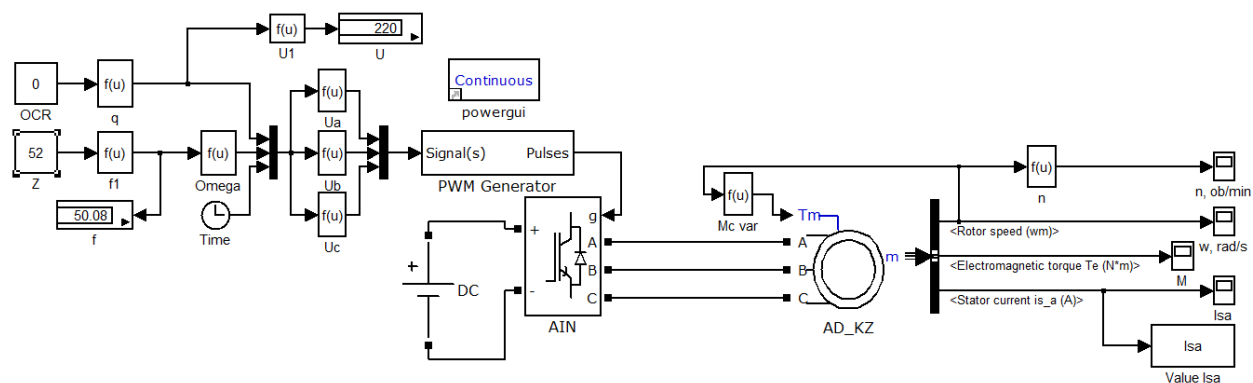


Рисунок 2 - Иммитационная модель в системе MATLAB до регулирования напряжения

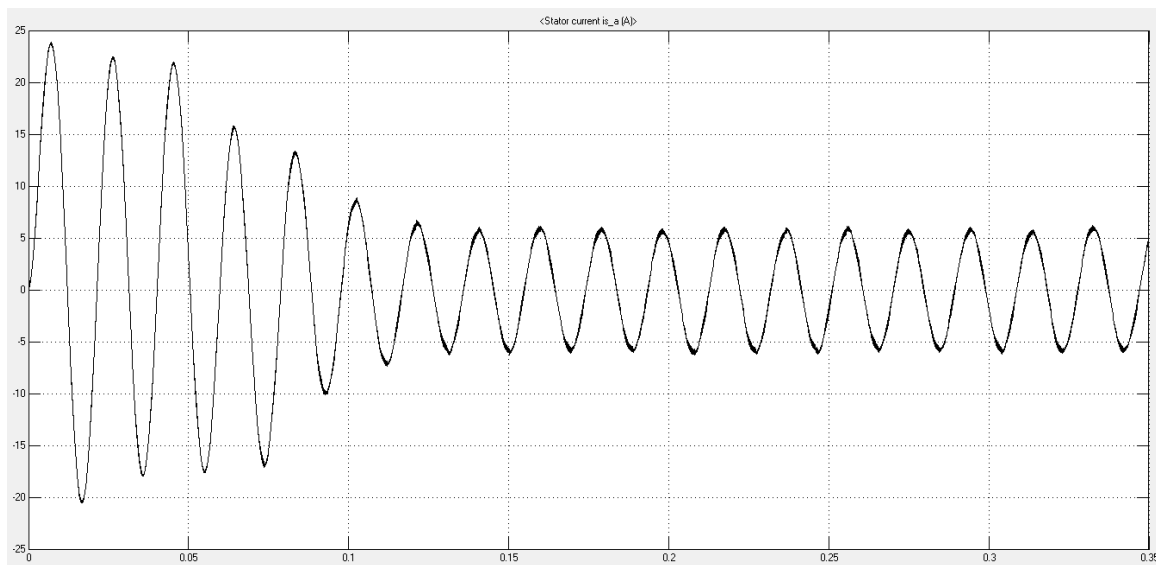


Рисунок 3 - Зависимость тока статора фазы А от времени до регулирования напряжения

До регулирования напряжения при частоте 50 Гц максимальное значение тока статора фазы А равно 23,8448 А, а минимальное значение равно -20,5550 А. Эти значения которые зафиксированы при пуске электродвигателя (Рисунок 3).

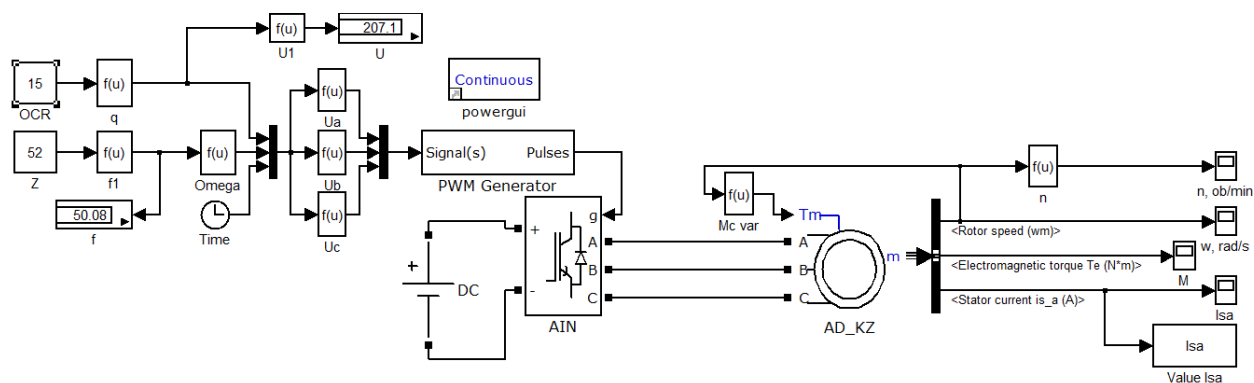


Рисунок 4 - Иммитационная модель в системе MATLAB после регулирования напряжения

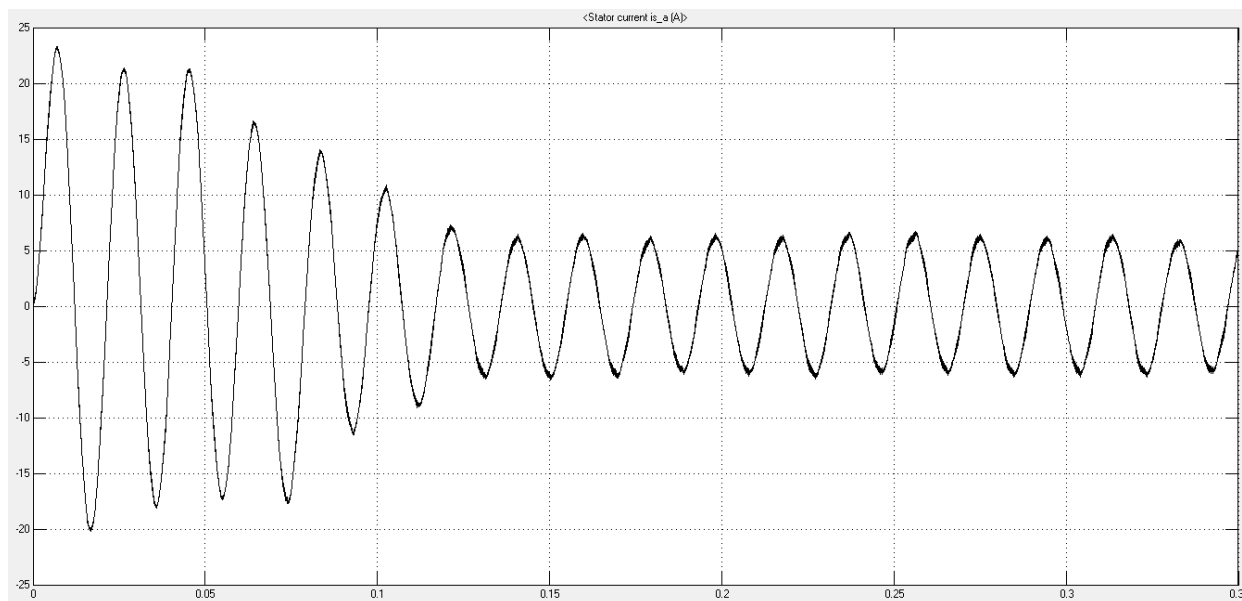


Рисунок 5 - Зависимость тока статора фазы А от времени после регулирования напряжения в процессе работы

До регулирования напряжения при частоте 50 Гц максимальное значение тока статора фазы А равно 23,2581 А, а минимальное значение равно -20,1998 А. Эти значения которые зафиксированы при пуске электродвигателя (Рисунок 5).

На основе полученных на компьютерной модели зависимостей уменьшения фазного тока было произведено экспериментальное обоснование снижения тока статора при изменении частоты питающей сети и регулирования напряжения.

На рисунке 4 представлена зависимость потребления электрической энергии от частоты питающей сети, из которого можно сделать вывод о том, то при адаптивном законе управления активная мощность значительно меньше, чем при линейном законе управления.

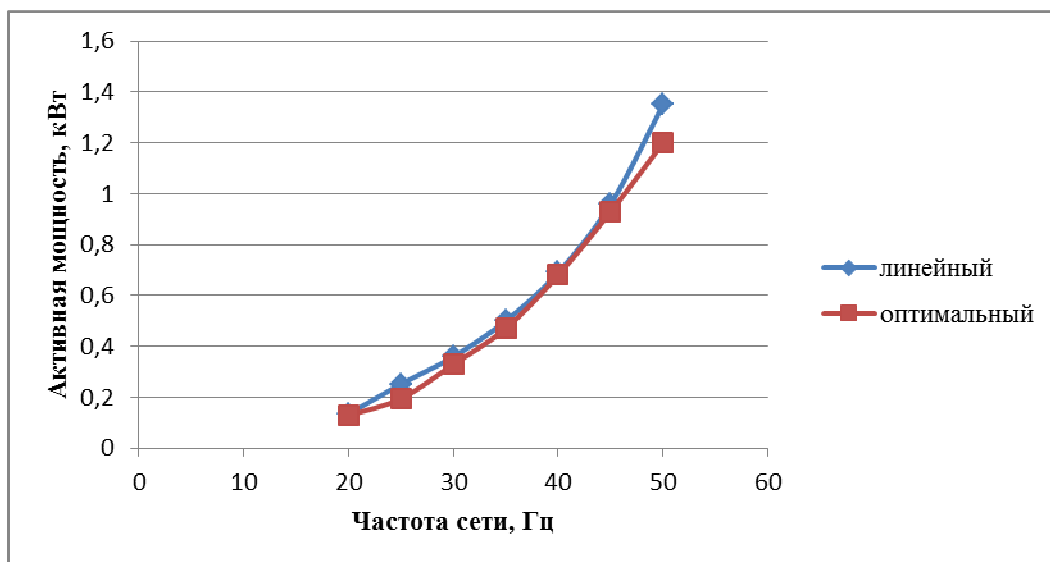


Рисунок 4 – Зависимость изменения активной мощности при линейном и оптимальном законе управления от частоты питающей сети

На рисунке 5 приведена зависимость рабочего тока статора фазы А от частоты питающей сети из которой видно, что при оптимальном законе управления потребляемый ток меньше, чем при линейном законе управления.

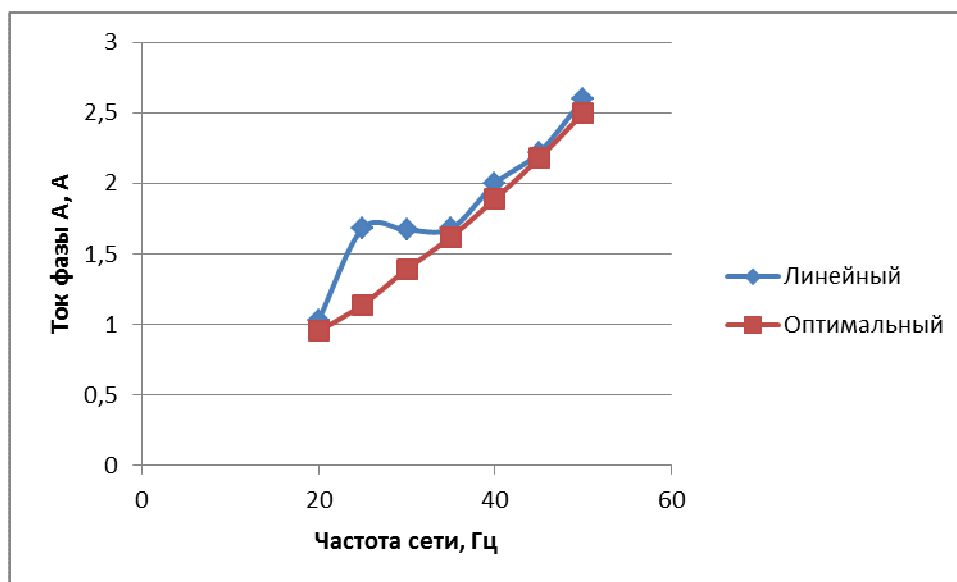


Рисунок 5 – Зависимость тока фазы А статора от частоты питающей сети

На рисунке 6 представлена степень уменьшения активной энергии при различной частоте питающей сети, из которой видно, что при разных частотах активная мощность уменьшается



Рисунок 6 - Зависимость уменьшения активной электроэнергии от частоты питающей сети при линейном и оптимальном законах управления.

При регулировании напряжения ток фазы А изменяется (рисунок 7), таким образом давая экономию электроэнергии.

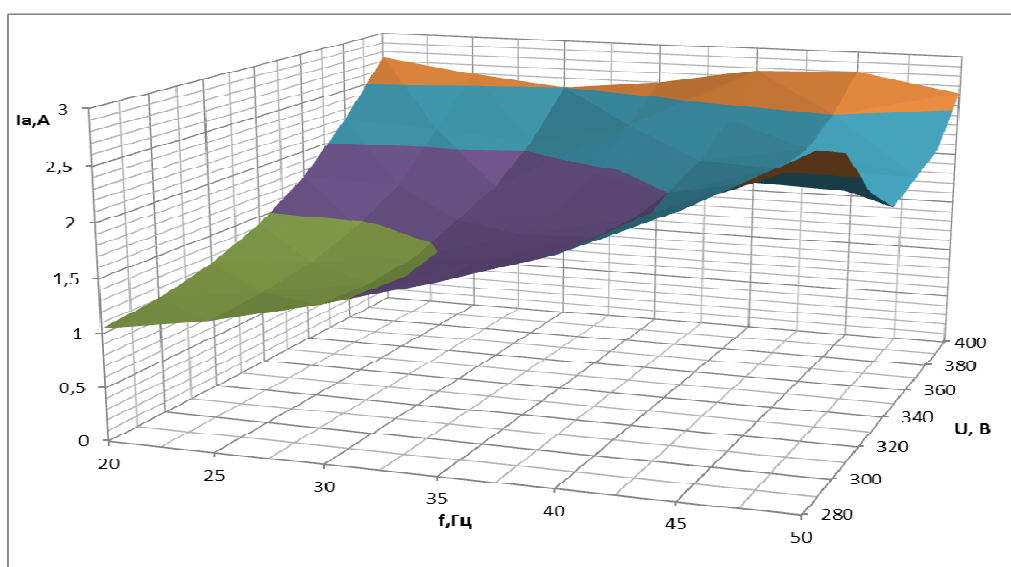


Рисунок 7 - Изменение фазного тока в зависимости от изменения напряжения и частоты питающей сети.

Из рисунка 7 видно, что при одинаковой частоте и различном напряжении можно найти минимальное значение фазного тока, и, следовательно, минимальное энергопотребление.

Ни рисунке 8 показано изменение частоты вращения при регулировании напряжения.



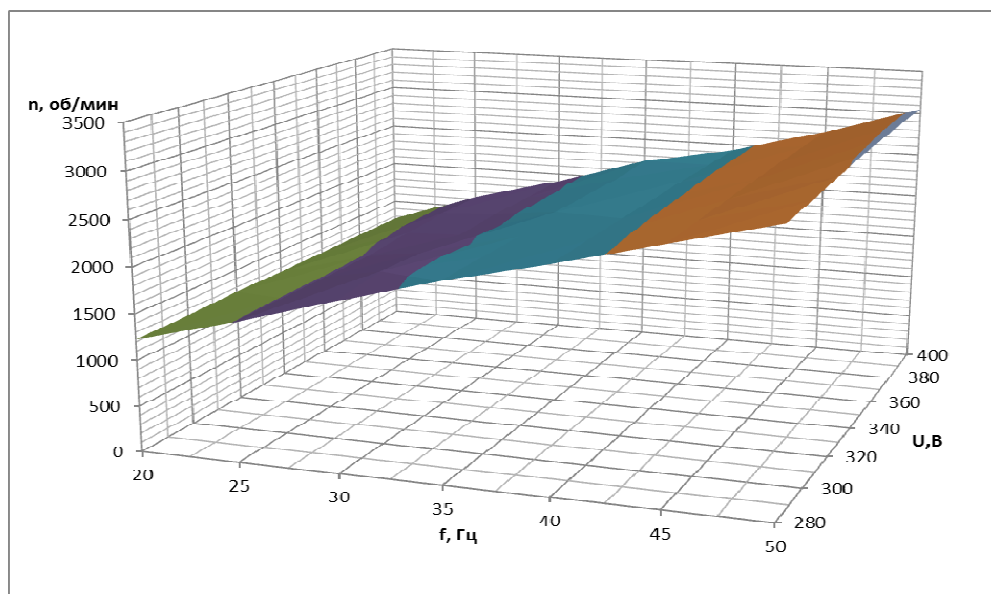


Рисунок 8 - Изменение частоты вращения ротора в зависимости от изменения напряжения и частоты питающей сети.

Из рисунка 8 видно, что при одинаковой частоте и различном напряжении меняется на 30-50 об/мин, что практически не сказывается на давлении в системе водоснабжения.

Из этого можно сделать вывод, что математическая модель адекватна физической модели. По результатам опытов выявлено, что использование адаптивного алгоритма управления позволит снизить потребление электроэнергии в среднем на 5-7% путем минимизации тока статора.

Для защиты электродвигателей использующих частотное регулирование нецелесообразно использовать фильтровые защиты (фильтры напряжения прямой и обратной последовательности). В этом случае нужно использовать температурные защиты если водоснабжение осуществляется из открытых источников. Если используются погружные электродвигатели, то целесообразно использовать микропроцессорные защиты, алгоритм работы которых осуществляется с учетом изменения тока статора в зависимости от частоты питающей сети.

#### Литература

/1/ Таранов Д.М., Каун О.Ю., Гуляев П.В., Гуляева Т.В., Лыткин А.В. Адаптивный энергосберегающий алгоритм управления для преобразователей частоты привода

насосов системы водоснабжения, Научный журнал КубГАУ, №96(02), 2014 года. Электронный ресурс. Режим доступа – <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/10.pdf>

/2/ Каун О.Ю. Реализация адаптивного алгоритма управления для преобразователей частоты электропривода насосов системы водоснабжения комплексов КРС. ВИЭСХ. Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал. 4(9)/2014.

/3/ Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. – Санкт-Петербург.: Питер, 2008. – 350 с.: ил.

### References

/1/ Taranov D.M., Kaun O.Ju., Guljaev P.V., Guljaeva T.V., Lytkin A.V. Adaptivnyj jenergoberegajushhij algoritm upravlenija dlja preobrazovatelej chastoty privoda nasosov sistemy vodosnabzhenija, Nauchnyj zhurnal KubGAU, №96(02), 2014 goda. Jelektronnyj resurs. Rezhim dostupa – <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/10.pdf>

/2/ Kaun O.Ju. Realizacija adaptivnogo algoritma upravlenija dlja preobrazovatelej chastoty jelektroprivoda nasosov sistemy vodosnabzhenija kompleksov KRS. VIJeSH. Innovacii v sel'skom hozjajstve. Teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal. 4(9)/2014.

/3/ Vol'dek A.I., Popov V.V. Jelektricheskie mashiny. Mashiny peremennogo toka: Uchebnik dlja vuzov. – Sankt-Peterburg.: Piter, 2008. – 350 s.: il.