

УДК 621.313.13

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА НАГРЕВОВ ДВИГАТЕЛЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА
НА БАЗЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА****А.А. Шевченко, З.С. Темлякова, Д.М. Топорков***Новосибирский государственный технический университет*

В статье предлагается метод оптимизации расчета нагревов частей активного объема крупных асинхронных двигателей с использованием устройства плавного пуска при определенных видах нагрузочных характеристик. Расчет нагревов обусловливается необходимостью определения степени старения изоляции и прогнозирования уменьшения срока службы электрической машины. Метод оптимизации расчета нагревов частей активного объема асинхронного двигателя базируется на автоматизации вычисления нагревов при моделировании процесса самозапуска двигателя после восстановления аварийного снижения напряжения сети. В то же время использование устройства плавного пуска подразумевает существенное проседание моментной характеристики двигателя. Данное явление, несмотря на снижение пусковых токов, явно сказывается как на времени запуска двигателя, так и на времени его дозапуска при выбеге ротора, соответственно на величине нагревов частей активного объема машины, вплоть до самой возможности запуска, что может вывести двигатель из строя и привести к аварии на ответственных производственных объектах. Предложена комплексная модификация алгоритма расчета токов и моментов, а также нагревов частей активного объема асинхронной машины при плавном пуске и автоматизация обработки массива данных расчета на конкретном примере асинхронного двигателя.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, самозапуск, устройство плавного пуска, математическое моделирование, автоматизация, JavaScript.

DOI: 10.17212/1727-2769-2019-2-80-91

Введение

В современных регулируемых электромеханических системах все шире применяются плавный пуск асинхронных двигателей, для которого характерно уменьшение пускового тока и, как следствие, увеличение срока службы машины [1–4]. Несмотря на то что в современном производстве пуск двигателя все чаще осуществляется от преобразователя частоты (ПЧ), применение устройств плавного пуска (УПП) по сей день остается дешевой альтернативой и помогает избежать высоких нагрузок на сеть, а также слишком быстрого пуска. Последнее может привести к гидравлическим ударам, рывкам в механизме, обрыву транспортерных лент и т.д.

С помощью УПП обеспечивается приведение в соответствие с требованиями по эксплуатации количественных значений токов обмоток электрической машины и момента вращения ротора в течение пуска. Характерно, что ток обмотки статора двигателя пропорционален напряжению, а момент вращения пропорционален квадрату напряжения. Это означает, что в результате управления напряжением двигателя с помощью электронного УПП в ходе процесса пуска регулируется также потребляемый пусковой ток и создаваемый в двигателе начальный пусковой момент.

Также неотъемлемым требованием обеспечения автоматизированных производственных процессов является требование автоматического восстановления

режима работы используемых в электрооборудовании асинхронных электродвигателей после кратковременного нарушения электроснабжения, которое сопровождается выбегом ротора. Под термином «выбег» подразумевается выход ротора из режима работы при номинальном скольжении в случаях снижения или отключения напряжения. Коротко физическая картина описывается следующим образом: при временном уменьшении подводимого напряжения в недопустимых пределах асинхронные двигатели ответственных механизмов не отключаются, а одновременно с восстановлением напряжения на шинах электроснабжающей установки они пускаются автоматически, без участия персонала. Тем самым технологический процесс производства не нарушается. Автоматическое восстановление работы электродвигателей при кратковременном нарушении электроснабжения принято называть самозапуском.

Короткие замыкания в сетях, вызывающие исчезновение либо снижение напряжения, как правило, кратковременны. В силу своих специфических особенностей роторы асинхронных двигателей не успевают остановиться, что обеспечивает продолжение технологического процесса производства. Однако с ростом скольжения ротор затормаживается, что сопровождается возрастанием тока в проводниках обмоток статора и ротора, что, в свою очередь, может привести к недопустимым перегревам и, как следствие, более быстрому старению изоляции. Из этого следует, что имеет место повышенная нагрузка электрической цепи питания. То есть цепь питания во время пуска двигателя должна быть рассчитана на более высокую нагрузку [5, 6].

1. Постановка задачи

Несмотря на то что при использовании УПП в случае аварийной ситуации самозапуск не осуществляется и двигатель перед следующим пуском должен быть остановлен полностью, алгоритм расчета нагревов при пуске с УПП схож с алгоритмом расчета нагревов при самозапуске. Соответственно автоматизация расчета пусковых нагревов при плавном пуске может основываться на алгоритме подсчета нагревов активных частей машины при дозапуске.

Реализация плавного пуска асинхронного двигателя рассматривается на примере высоковольтного асинхронного двигателя 5АЗМВ-3150/6000У2,5 производства НПО «ЭЛСИБ» ПАО в сочетании с устройством тиристорного регулирования напряжения.

Решаемая задача сводится к следующему.

1. Модификация алгоритма расчета минимально возможного пускового тока, обеспечивающего режим гарантированного пуска, на основе ранее разработанного алгоритма расчета необходимых параметров при самозапуске двигателя.

2. Автоматизация расчета массива значений пусковых токов и моментов с целью уменьшения трудоемкости и времени расчета.

2. Расчет времени самозапуска

Процедура математического моделирования имеет разветвленный характер и состоит из нескольких блоков и подблоков. Перед расчетом нагревов токоведущих частей двигателя (обмотка статора, стержни и короткозамыкающие кольца ротора) необходимо вычислить время самозапуска. Для этого необходимы следующие исходные данные:

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность, кВт;

$n_{\text{ном}}$ – синхронная частота вращения магнитного поля статора, об/мин;

$J_{\text{дв}}$ – динамический момент инерции ротора, кг · м²;

$J_{\text{мех}}$ – динамический момент инерции нагрузочного механизма, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

s – скольжение (набор значений), о.е.;

M^* – соответствующее скольжениям значение вращающего момента, о.е.

В качестве набора значений скольжений выбрана следующая числовая последовательность:

$$1; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,15; 0,1; 0,05; \text{значение } s_{\text{кр}},$$

где $s_{\text{кр}}$ – критическое значение скольжения.

Кроме того, необходимо задать статическую зависимость момента сопротивления механизма от скольжения $M_c(s)$, а также минимальное значение избыточного момента $M_{\text{и min}}$, о.е., время отсутствия напряжения $t_{U=0}$, с, и дискретность времени восстановления напряжения $t_{\text{восст}}$, с. Подробно задание приведенных выше параметров приведено в [7].

Из указанных исходных данных необходимо выделить следующие величины.

1. Начальное (α_1) и конечное (α_2) значения относительного снижения напряжения:

$$\alpha = \frac{U_{\text{п}}}{U_{\text{н}}},$$

где $U_{\text{п}}$ – величина напряжения просадки; $U_{\text{н}}$ – величина номинального значения напряжения.

2. $M_{\text{и}}$ – значение избыточного момента.

Расчет времени самозапуска состоит из двух основных подблоков. Смысл первого заключается в определении всех требуемых для расчета времени самозапуска величин, второго – в анализе удовлетворения требованиям условия самозапуска.

Дискретность времени восстановления (Δt , с) предопределяет точность расчета времени самозапуска. При расчете полагается, что отрезки $\alpha_1 \dots \alpha_2$ и $0 \dots t_{\text{восст}}$ изменяются линейно по закону $y = x$. Путем линейной интерполяции отрезок $\alpha_1 \dots \alpha_2$ разбивается на число частей, соответствующее заданной дискретности, при этом каждому отрезку времени соответствует значение α_i .

Преобразованием дифференциального уравнения изменения момента из [4, 5] получена зависимость изменения времени выбега от скольжения:

$$\tau(s) = \frac{2\pi n_{\text{ном}}(J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}})}{30} \int_0^1 \frac{ds}{M_{\text{и.ср}}(s)}.$$

Из данной зависимости, подставляя $\tau(s) = t_{U=0}$, находится скольжение выбега $s_{\text{выб}}$.

Далее, учитывая квадратичную зависимость между напряжением и моментом, программа находит избыточные моменты для каждого значения скольжения при всех имеющихся по результатам разбиения на отрезки величин α , после чего полученные результаты сводит в таблицу (табл. 1).

Аналогично высчитывается минимальное значение α_{min} , при котором физически возможен запуск/дозапуск асинхронного двигателя.

Далее согласно

$$\tau = kT \int_0^1 \frac{ds}{M_{\text{и.ср}}(s)}$$

высчитывается значение времени пуска для каждого значения α , при допущении, что данная величина относительного снижения напряжения постоянна для всего

периода времени работы двигателя. Эта формула содержит параметры k (коэффициент постоянной времени агрегата) и T (постоянная времени электродвигателя, с), которые определяются по методике из [5] следующим образом:

$$k = 1 + \frac{GD_{\text{мех}}^2}{GD_{\text{дв}}^2} = 1 + \frac{J_{\text{мех}}}{J_{\text{дв}}};$$

$$T = \frac{GD_{\text{дв}}^2 n_{\text{ном}}^2 10^{-3}}{365 P_{\text{ном}}},$$

где

$$J = \frac{GD^2}{4};$$

$GD_{\text{дв/мех}}^2$ – маховый момент двигателя/механизма соответственно, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; J – динамический момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Более подробное описание алгоритма подсчета времени самозапуска приведено в [7].

Таблица 1 / Table 1

Значения избыточных моментов
Values of excess torque

| s | α_1 t_1 | α_2 t_2 | ... | α_n t_n |
|----------|---------------------|---------------------|-----|---------------------|
| s_1 | $M_{u1.1}$ | $M_{u2.1}$ | ... | $M_{un.1}$ |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| s_{13} | $M_{u1.13}$ | $M_{u2.13}$ | ... | $M_{un.13}$ |

3. Расчет нагревов при самозапуске

Расчет нагревов при пуске производится по окончании определения всех отрезков времени и аналогичен процедуре определения времени самозапуска. Для расчета используются следующие данные:

$T_{\text{с/к}}$ – базовые нагревы стержней/колец, $^{\circ}\text{C}$;

v_1 – скорость нарастания температуры обмотки статора, $^{\circ}\text{C/с}$;

$p_{\text{с/к}}$ – относительные потери в стержнях/кольцах, соответствующие вышеуказанному набору значений скольжений, о.е.

По аналогии с расчетом времени пуска согласно [8] определяется нагрев обмотки статора

$$\theta_1 = \alpha^2 v_1 k T \int_0^1 \frac{ds}{M_{\text{и.ср}}(s)}.$$

Нагрев стержней/колец ротора:

$$\theta_{\text{с/к}} = \alpha^2 k T_{\text{с/к}} \int_0^1 \frac{p_{\text{с/к.ср}}(s) ds}{M_{\text{и.ср}}(s)}.$$

При расчете нагревов при самозапуске возникает сложность в части определения значений нагревов обмотки статора, стержней и короткозамыкающих колец ротора при «зависании ротора» асинхронного двигателя.

Известно, что минимальное значение избыточного момента $M_{и.мин}$, — это та минимальная разница между значениями вращающего момента электродвигателя M^* и момента сопротивления нагрузки M_c , при которой произойдет его гарантированный пуск/дозапуск. При математическом моделировании принято допущение, что при меньшем положительном значении избыточного момента произойдет «зависание ротора», т. е. вращение с постоянной угловой скоростью происходит до тех пор, пока напряжение обмотки статора не повысится до значения, обеспечивающего необходимый избыточный момент, и, как следствие, продолжение разгона ротора. Реальная физическая картина разгона продолжится и при снижении углового ускорения. При отрицательном избыточном моменте угловое ускорение примет соответственно отрицательное значение.

В качестве примера на рис. 1 дана графическая интерпретация зависимости избыточного момента в функции скольжения $M_c(s)$. Область избыточного момента M_u получена как функция разности вращающего момента асинхронного двигателя и момента сопротивления нагрузки согласно [4].

$$M_u = M - M_c.$$

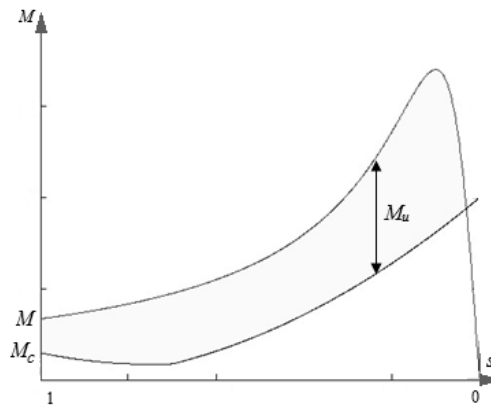


Рис. 1 – Моментные характеристики двигателя и нагрузочного механизма M , о.е., от скольжения s , о.е.

Fig. 1 – The motor torque and load mechanism characteristics M , r.u., versus slip s , r.u.

Следствием «зависания ротора» является значительное возрастание температур токоведущих частей из-за относительно продолжительного времени работы при скольжении, которому соответствует высокое значение тока обмотки статора. В данном случае, согласно [8]:

$$\theta_{л.зав} = \frac{j_1 I_i^* U_{\alpha \text{ ср}} k_t t_{зав}}{198 U_{\text{ном}}},$$

$$\theta_{с/к.зав} = p_{с/кi} \frac{\alpha_1^2 + \alpha_2^2}{2} \frac{P_{\text{ном}} t_{зав}}{C_{с/к} G_{с/к}}.$$

Здесь $t_{\text{зав}}$ – время «зависания», с; j_1 – плотность тока в обмотке статора, А/мм²; $C_{\text{с/к}}$ – удельная теплоемкость материала стержней/колец, кДж/кг · °С; $G_{\text{с/к}}$ – вес стержней/колец, кг; I^* – относительные пусковые токи, соответствующие скольжениям (набор значений), о.е.; $U_{\alpha\text{ср}}$ – средняя величина снижения напряжения, В; k_t – температурный коэффициент, о.е.; индекс «зав» означает искомую величину в режиме зависания.

Средняя величина снижения напряжения и температурный коэффициент:

$$U_{\alpha\text{ср}} = U_{\text{ном}} \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2},$$

$$k_t = 1 + 0,004(t_p^\circ - 15^\circ).$$

Здесь t_p° – расчетная температура (зависит от класса изоляции).

Значения удельной теплоемкости используемых для изготовления токопроводящих частей асинхронных двигателей металлов приведены в [9]. Нагрев при разгоне от величины критического скольжения до величины номинального полагается на 0,1 °С.

4. Принципы реализации плавного пуска

Принципы реализации плавного пуска подобны последовательности анализа выбега ротора, рассмотренного выше. В данном случае также обеспечивается постепенное изменение создаваемого в двигателе момента вращения.

В отличие от частотно-токового регулирования пуска и выбега ротора двигателя с использованием частотного преобразователя, при которых регулируется частота, в рассматриваемом случае частота тока обмотки статора остается постоянной и соответствует сетевой частоте.

На рис. 2 представлена зависимость фазного напряжения в функции времени при использовании тиристорного устройства плавного пуска, где за счет изменения величины α (значение которой указано ранее) изменяется величина напряжения на обмотке статора и, как следствие, величина тока и момента.

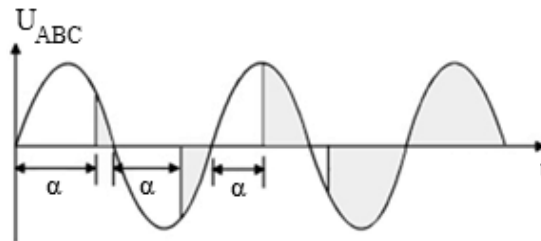


Рис. 2 – График зависимости фазного напряжения от времени

Fig. 2 – Phase voltage versus time graph

Следует отметить, что используемый в работе подход к расчету является упрощенным, так как при проведении электромагнитных расчетов полагается, что вместо «обрезанного» сигнала происходит соответствующее уменьшение амплитуды напряжения. Однако при равенстве среднеквадратичных значений напряжений амплитудные величины могут существенно различаться.

Для нахождения минимально допустимой уставки (величины минимально возможного пускового тока) при пуске, а также подсчета времени пуска и нагрева

обмотки статора, стержней и к/з колец ротора при автоматизированном расчете в процессе использования программного комплекса вводятся те же входные данные, что и ранее, с той разницей что:

- 1) исключаются входные величины $U_n, j_1, C_{с/к}, G_{с/к}, t_p^o$;
- 2) дополнительно вводится величина номинального тока I_n .

Для значений скольжений приведена линейка стандартных величин по аналогии с расчетом самозапуска. Перед началом расчета необходимо также вывести зависимость статического момента сопротивления механизма от скольжения $M_c(s)$ [7].

Далее необходимо задать условия пуска машины. Здесь вводятся описанные выше величины α и $M_{н\min}$ с той разницей, что для определения α величина U_n будет являться не величиной напряжения просадки, а величиной «обрезанного» напряжения, подаваемого при пуске.

Дальнейший расчет автоматизирован.

5. Алгоритм работы программы

Программный комплекс реализован на языке программирования JavaScript. Ниже описаны особенности алгоритма работы программы.

Программа создает массив из n значений величин относительного снижения напряжения при пуске, начиная от введенной пользователем величины α до величины $\alpha = 1$ с дискретностью 0,01. Далее, учитывая квадратичную зависимость между напряжением и моментом, программа находит избыточные моменты для каждого значения скольжения на всем диапазоне $\alpha \dots 1$ для каждого значения α_i . По завершении построения двумерного массива значений производится проверка величины избыточного момента при $s = 1$ для введенной величины α на выполнение условия $M_{н\alpha s=1} \geq M_{н\min}$. Отрицательный результат такой проверки будет означать, что пользователь подобрал слишком низкое значение α , недостаточное для создания необходимого избыточного момента и соответственно для запуска двигателя, о чем программа незамедлительно оповестит пользователя.

При выполнении заданного условия программа начинает удалять из построенного ранее двумерного массива значений избыточных моментов лишние наборы величин α_i по следующему алгоритму. Программа начинает проверять выполнение условия $M_{нi,j+1} \geq M_{н\min}$, где i – значение α_i , j – значение s_j . При первом выполнении данного условия набор избыточных моментов для текущего α_i сохраняется в массиве. В случае, когда значение избыточного момента для очередного скольжения окажется ниже величины $M_{н\min}$, происходит переход к следующему значению α . Если после перехода условие $M_{нi,j+1} \geq M_{н\min}$ не выполняется, то происходит переход к следующему значению α , а набор избыточных моментов для оставленного α_i удаляется из массива.

По достижении величины $\alpha = 1$ расчет идет до номинального значения скольжения. В случае, если в последнем наборе избыточных моментов существует хотя бы одно отрицательное значение, машина не выйдет на номинальную скорость, о чем программа незамедлительно сообщит.

В случае, если на промежуточном дискретном значении α все оставшиеся величины избыточных моментов выше минимальной, полагается, что машина запустится уже на данной величине относительного снижения напряжения.

Сформировавшийся двумерный массив из m наборов значений избыточных моментов сводится в таблицу (см. табл. 1).

Также высчитывается минимальное значение α , при котором физически возможен запуск двигателя.

Дальнейший расчет времени запуска и величин нагревов происходит по принципу, описанному выше для самозапуска. Кроме этого, исходя из линейной зависимости тока и напряжения, производится расчет величин кратности пускового тока для каждого значения скольжения:

$$I_{\text{УПП}}^* = \alpha I_{\text{прям. пуск}}^*$$

где $I_{\text{УПП}}^*$ – относительное значение пускового тока с использованием УПП;
 $I_{\text{прям. пуск}}^*$ – относительное значение пускового тока при прямом пуске.

6. Результаты математического моделирования

Математическое моделирование плавного пуска, как указывалось выше, осуществлено на примере асинхронного двигателя 5А3МВ-3150/6000У2,5 производства НПО «ЭЛСИБ» ПАО в сочетании с устройством тиристорного регулирования напряжения.

Графическая интерпретация моментов и токов при прямом и плавном пусках показана на рис. 3, 4.

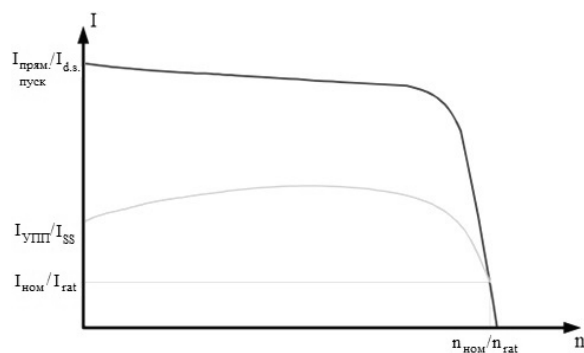


Рис. 3 – График зависимости относительной величины тока I , о.е., от частоты вращения n , об/мин

Fig. 3 – Relative current value I , r.u., versus speed n , rpm, graph

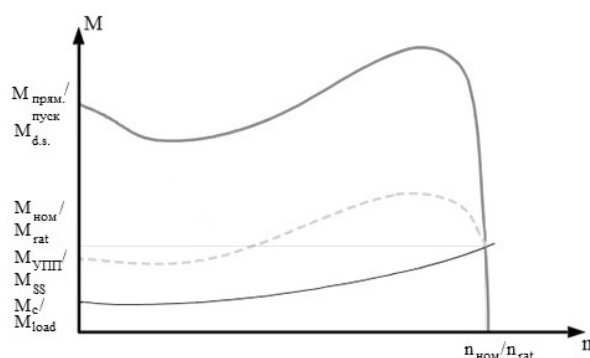


Рис. 4 – График зависимости относительной величины момента M , о.е., от частоты вращения n , об/мин

Fig. 4 – Relative torque value M , r.u., versus speed n , rpm, graph

Количественная характеристика значений моментов и токов представлена в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

Результаты расчета
Calculation results

| | | | | | |
|------------------------|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|
| P , кВт | | | 3150 | | |
| U , В | | | 6000 | | |
| n , об/мин | | | 3000 | | |
| I_1 , А | | | 347 | | |
| s | $I_{\text{прям.пуск}}$ | α | $I_{\text{УПП}}$ | $M_{\text{прям.пуск}}$ | $M_{\text{УПП}}$ |
| о.е. | | | | | |
| 1,00 | 7,06 | 0,68 | 4,80 | 0,80 | 0,37 |
| 0,90 | 7,00 | 0,68 | 4,76 | 0,80 | 0,37 |
| 0,80 | 6,90 | 0,68 | 4,69 | 0,80 | 0,37 |
| 0,70 | 6,80 | 0,68 | 4,62 | 0,82 | 0,38 |
| 0,60 | 6,75 | 0,68 | 4,59 | 0,84 | 0,39 |
| 0,50 | 6,65 | 0,70 | 4,66 | 0,87 | 0,43 |
| 0,40 | 6,56 | 0,74 | 4,85 | 0,95 | 0,52 |
| 0,30 | 6,50 | 0,76 | 4,94 | 1,10 | 0,64 |
| 0,20 | 6,15 | 0,76 | 4,67 | 1,30 | 0,75 |
| 0,15 | 5,85 | 0,76 | 4,45 | 1,45 | 0,84 |
| 0,10 | 5,50 | 0,76 | 4,18 | 1,60 | 0,92 |
| 0,05 | 4,75 | 0,76 | 3,61 | 2,00 | 1,16 |
| $s_{\text{кр}} = 0,02$ | 4,10 | 0,76 | 3,12 | 2,40 | 1,39 |

Характеристика нагрузочного момента имеет вид параболы с провалом [7, 9–11]. Пусковой нагрузочный момент составляет 2 кН · м, номинальный – 10 кН · м.

Составляется заключение о требуемой минимальной величине кратности пускового тока двигателя для внесенной пользователем величины относительного снижения напряжения при пуске α , время пуска и нагревы: пуск двигателя 5АЗМВ-3150/6000У2,5 возможен при питании от УПП при настройке не менее $4,95I_n$ (значение тока при пуске $I_n = 1718$ А, максимально допустимое время пуска должно быть не более 25 с). Нагрев обмотки статора составит 21,7 °С, нагрев стержней – 139 °С, колес – 53,0 °С.

Заключение

1. На базе алгоритма расчета времени самозапуска и нагревов при нем разработана модификация алгоритма расчета токов при плавном пуске за счет изменения напряжения с использованием тиристорного устройства для заданной нагрузки. В модификации отражены особенности электромагнитного расчета при постоянной частоте тока обмотки статора. В то же время показана универсальность алгоритма расчета.

2. Алгоритм обработки массива значений пусковых токов и моментов при плавном пуске для заданной нагрузки автоматизирован и сведен в программный комплекс, что обеспечивает уменьшение трудоемкости и времени расчета. Одновременно с этим, учитывая особенности языка программирования JavaScript, конечный пользователь ситуативно имеет возможность удаленного доступа к разработанному программному продукту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин. – М.: Высшая школа, 2000. – 225 с.
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2008. – 350 с.
3. Архипцев Ю.Ф., Котеленев Н.Ф. Асинхронные электродвигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 104 с.
4. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
5. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
6. Temlyakova Z.S., Shevchenko A.A., Grechkin V.V. Investigation of operational properties of an induction motor based on numerical simulation // Electrical Engineering. Electrotechnology. Power engineering (EEE-2015): proceedings, Novosibirsk, 9–12 June 2015. – Novosibirsk: NSTU, 2015. – P. 79–82.
7. Shevchenko A.A., Temlyakova Z.S. Large asynchronous machines self-running mode JavaScript-based computer-aided design // 11 International Forum on Strategic Technology (IFOST 2016): proceedings, Novosibirsk, 1–3 June 2016. – Novosibirsk: NSTU, 2016. – Pt. 2. – P. 133–135. – DOI: 10.1109/ifost.2016.7884210.
8. Heating calculation features at self-start of large asynchronous motor / A.A. Shevchenko, Z.S. Temlyakova, V.V. Grechkin, M.E. Vilberger // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 87. – Art. 032039. – P. 1–6. – DOI: 10.1088/1755-1315/87/3/032039.
9. Шевченко А.А., Темлякова З.С., Гречкин В.В. Автоматизация расчета самозапуска двухскоростных асинхронных машин на основе применения языка программирования JavaScript // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды 7 Всероссийской научно-практической конференции, Новокузнецк, 23–24 ноября 2016 г. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2016. – С. 219–221.
10. Computer support for designing a high-voltage induction motor / V.V. Grechkin, M.G. Persova, Y.G. Soloveichik, Z.S. Temlyakova // Russian Electrical Engineering. – 2014. – Vol. 85, iss. 12. – P. 740–742. – DOI: 10.3103/s1068371214120050.

**MOTOR HEATING CALCULATION AUTOMATIZATION USING
THE SOFT-STARTING DEVICE BASED ON THE SELF-STARTING
CALCULATION ALGORITHM**

Shevchenko A.A., Temlyakova Z.S., Toporkov D.M.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

The article proposes a method for optimizing the calculation of the heating of large asynchronous motor active volume parts using a soft starter for certain types of load characteristics. The heating calculation is determined by the need to determine the insulation aging degree and predict a decrease in the service life of an electrical machine. The optimization method for calculating the heating of asynchronous motor active volume parts is based on automating the calculation of the heats when simulating the motor self-start process after the restoration the voltage in a network. At the same time, the use of a soft start device implies a significant subsidence of the motor torque characteristics. This phenomenon, despite the decrease in starting currents, clearly affects both the motor starting time and the starting-up time when the rotor has been running out, respectively, the machine active volume part heating amount up to the starting possibility which can damage the motor and lead to accidents at responsible production facilities. The algorithm comprehensive modification for calculating currents and torques, as well as asynchronous machine active volume heating parts with a soft-starter, and automating the calculation data array processing using a specific example of an asynchronous motor is proposed.

Keywords: asynchronous motor, self-start, soft starter, mathematical modeling, automation, JavaScript.

DOI: 10.17212/1727-2769-2019-2-80-91

REFERENCES

1. Gol'dberg O.D. *Ispytaniya elektricheskikh mashin* [Electrical machine testing]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 225 p.
2. Vol'dek A.I., Popov V.V. *Elektricheskie mashiny. Mashiny peremennogo toka* [Electrical machines. AC machines: the textbook for high schools]. St. Petersburg, Piter Publ., 2008. 350 p.
3. Arkhipev Yu.F., Kotelenov N.F. *Asinkhronnye elektrodvigateli* [Asynchronous motors]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 104 p.
4. Chilikin M.G., Sandler A.S. *Obshchii kurs elektroprivoda* [General course of electric drive]. Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 576 p.
5. Syromyatnikov I. A. *Rezhimy raboty asinhronnykh i sinhronnykh dvigatelej* [Operation modes of asynchronous and synchronous motors]. Moscow, 1984, 240 p.
6. Temlyakova Z.S., Shevchenko A.A., Grechkin V.V. Investigation of operational properties of an induction motor based on numerical simulation. *Electrical Engineering. Electrotechnology. Power engineering (EEE-2015)*. Novosibirsk, 2015, pp. 79–82.
7. Shevchenko A.A., Temlyakova Z.S. Large asynchronous machines self-running mode JavaScript-based computer-aided design. *11 International Forum on Strategic Technology (IFOST 2016)*. Novosibirsk, 2016, pp. 133–135. DOI: 10.1109/ifost.2016.7884210.
8. Shevchenko A.A., Temlyakova Z.S., Grechkin V.V., Vilberger M.E. Heating calculation features at self-start of large asynchronous motor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 87, art. 032039, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/87/3/032039.
9. Shevchenko A.A., Temlyakova Z.S., Grechkin V.V. [Automating the calculation of self-starting two-speed asynchronous machines based on the using JavaScript programming language]. *Avtomatizirovannyi elektroprivod i promyshlennaya elektronika: trudy 7 Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proceedings 7th SPC. "Automated electric drive and industrial electronics"]. Novokuznetsk, 2016, pp. 219–221. (In Russian).
10. Grechkin V.V., Persova M.G., Soloveichik Y.G., Temlyakova Z.S. Computer support for designing a high-voltage induction motor. *Russian Electrical Engineering*, 2014, vol. 85, iss. 12, pp. 740–742. DOI: 10.3103/s1068371214120050.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Шевченко Андрей Александрович – родился в 1992 году, аспирант кафедры ЭМ НГТУ. Область научных интересов: автоматизация производственных процессов. Опубликовано более 10 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: comrade.zed92@gmail.com).

Shevchenko Andrei Alexandrovich (b. 1992) – post-graduate student at the Department of Electromechanics in Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on automation of production processes. He is author of more than 10 scientific papers. (Address: Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: comrade.zed92@gmail.com).



Темлякова Зоя Савельевна – родилась в 1949 году, д-р техн. наук, профессор кафедры ЭМ НГТУ. Область научных интересов: электромеханические системы. Опубликовано более 60 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: temlikova@edu.nstu.ru).

Temlyakova Zoya Savelyevna (b. 1949) – Doctor of Sciences (Eng.), professor in Novosibirsk State Technical University. Her research interests are currently focused on electromechanical systems. She is author of more than 60 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: temlikova@edu.nstu.ru).



Топорков Дмитрий Михайлович – родился в 1988 году, канд. техн. наук, доцент кафедры ЭМ НГТУ. Область научных интересов: вопросы проектирования электрических машин. Опубликовано более 20 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. E-mail: toporkov@corp.nstu.ru).

Toporkov Dmitriy Mihailovich (b. 1988) – Candidate of Sciences (Eng.), associated professor in Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on issues of electrical machines designing. He is author of more than 20 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: toporkov@corp.nstu.ru).

*Статья поступила 29 мая 2019 г.
Received May 29, 2019*

To Reference:

Shevchenko A.A., Temlyakova Z.S., Toporkov D.M. Avtomatizatsiya rascheta nagrevov dvigatelya s primeneniem ustroystva plavnogo puska na baze algoritma rascheta samozapuska [Motor heating calculation automatization using the soft-starting device based on the self-starting calculation algorithm]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2019, no. 2 (43), pp. 80–91. DOI: 10.17212/1727-2769-2019-2-80-91.