УДК 62-573

МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ ПУСКЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ

О.Б.ШОНИН, *д-р техн. наук*, *профессор*, *ninosh_eltech@mail.ru*
В.С.ПРОНЬКО, *аспирант*, *pronko.vr@gmail.com*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», *Санкт-Петербург*, *Россия*

В условиях ограниченного ресурса и роста цен на энергоносители одним из приоритетных направлений современных исследований является повышение энергетической эффективности электроприводов, которые широко используются на промышленных предприятиях. Существующие методы минимизации потерь разработаны в основном для стационарных режимов. Разработке алгоритмов снижения потерь в переходных режимах уделено недостаточно внимания. В связи с высокой сложностью описания многофакторных динамических процессов определение оптимальных законов управления целесообразно проводить с помощью стохастических методов оптимизации. Работа посвящена обоснованию оптимальных пусковых характеристик асинхронного привода на базе генетического алгоритма. Особенностью предложенной методики оптимизации является многократное моделирование исследуемого привода с целью поиска пусковой характеристики, при которой обеспечивается минимум потерь энергии. Автоматизация поиска выполнена с помощью разработанной программы, которая содержит модуль генетического алгоритма и модуль сопряжения с моделью электропривода в среде Matlab/Simulink. Программа позволяет выбирать параметры генетического алгоритма и контролировать процесс оптимизации.

Применение предложенной методики позволило получить оптимальные пусковые характеристики «напряжение – частота» в табличной форме с последующей линейной аппроксимацией полученных данных. Повышение эффективности в результате применения закона пуска подтверждено сравнением результатов моделирования привода при пуске по линейной и оптимальной характеристикам. Дана оценка снижения потерь для нагрузки различного характера при широком диапазоне ее изменения.

***Ключевые слова*:** частотно-регулируемый электропривод, энергосбережение, оптимизация, генетический алгоритм.

В настоящее время широкое распространение получил частотно-регулируемый электропривод (ЧРП) на базе полупроводникового преобразователя частоты и асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Возможность регулирования скорости электропривода в широких пределах позволяет создавать установки с высокой энергетической эффективностью за счет повышения КПД оборудования путем перехода от механического способа регулирования производительностью к частотному способу регулирования [2, 5, 7, 9].

Другое направление энергосбережения связано с минимизацией потерь энергии в электроприводе на основе специальных алгоритмов управления, использующих зависимость потерь энергии от режима работы двигателя и обеспечивающих режим приводного механизма в области минимума функции потерь. Современные исследования направлены в основном на снижение потерь в стационарных режимах работы привода.

Известные алгоритмы минимизации потерь разделяются на два типа [9]:

– методы поиска экстремума, основанные на последовательном приближении к оптимальному по потерям режиму работы путем изменения параметров широтно-импульсной модуляции,

– методы модели потерь, которые позволяют определить оптимальный режим по модели электропривода, заложенной в систему управления.

Энергосберегающие методы управления для переходных процессов, в частности, пусковых режимов, изучены недостаточно. В статье рассмотрен пусковой режим частотно-регулируемого привода со скалярной системой управления и предложен способ оптимизации пусковых характеристик на основе генетического алгоритма по критерию минимума потерь энергии.

Особенности пуска асинхронного привода. Прямой пуск асинхронного двигателя осуществляется подключением обмоток статора непосредственно к сети. Основным негативным фактором такого пуска являются большие токи, превышающие номинальное значение в 5-7 раз. Такие токи приводят к нагреву и возникновению динамических усилий в обмотках, что способствует повышенному износу изоляции. Резкие изменения момента способны создавать напряжения в механических частях привода, увеличивая их износ. Эти факторы негативно сказываются на надежности электропривода в целом.

Другой недостаток прямого пуска проявляется в сетях малой мощности, например, на объектах нефтедобычи, удаленных от сетей единой энергетической системы и получающих питание от автономных генераторов. В слабых сетях высокие значения пусковых токов вызывают заметные потери напряжения в линиях, что нарушает процесс пуска самого двигателя и негативно влияет на работу других потребителей [3].

В зависимости от соотношения между параметрами эквивалентного источника в точке питания и параметрами двигателя помимо прямого пуска АД возможны другие способы – пуск с помощью реакторов, автотрансформаторов, переключения схем соединения статорных обмоток, а также устройств пуска на основе полупроводниковых приборов.

В частотно-регулируемом электроприводе плавный пуск осуществляется средствами системы управления. При традиционном пуске амплитуда u и частота f модулирующего сигнала ШИМ инвертора линейно возрастают от нуля до номинального значения. Однако такой алгоритм реализует далеко не все возможности частотного управления. Использование алгоритма стабилизации тока [6] дает возможность увеличить скорость разгона двигателя и снизить время пуска. В работе [1] показано, что применение особых законов изменения амплитуды во время пуска позволяет повысить энергетические характеристики электропривода за счет минимизации потерь энергии в электроприводе. Поиск таких законов осуществляется на основе методов оптимизации.

Сложный характер математической модели привода в виде нелинейной системы дифференциальных уравнений высокого порядка с учетом ключевого режима работы преобразователя частоты затрудняет применение традиционных методов оптимизации для оценки числа и характера экстремумов целевой функции. Для поиска оптимальной пусковой характеристики целесообразно использовать интеллектуальные стохастические методы оптимизации, которые в последнее время интенсивно развиваются и находят все большее применение в различных областях техники. Среди них можно выделить генетический алгоритм, метод роя частиц, метод имитации отжига и пр. [4]. Рассмотрим способ получения оптимальной пусковой характеристики с помощью генетического алгоритма.

Минимизация потерь в пусковом режиме привода связана с нахождением закона изменения амплитуды напряжения как функции частоты, при котором целевая функция в виде энергии потерь Q_d принимает минимальное значение

$$Q_d = \int_0^{t_{st}} P_d(t)dt \to \min, \qquad (1)$$

где $P_d(t)$ – мощность потерь энергии в двигателе; t_{st} – время пуска.

Оптимальный закон пуска будем искать в виде вектора дискретных значений амплитуд модулирующего сигнала ШИМ $\vec{u} = [u_1, u_2, u_3, ..., u_m]$, $0 \le u_i \le 1$, определенного на дискретной сетке частот $\vec{f} = [0, 5, 10, 15, ..., 50]$.

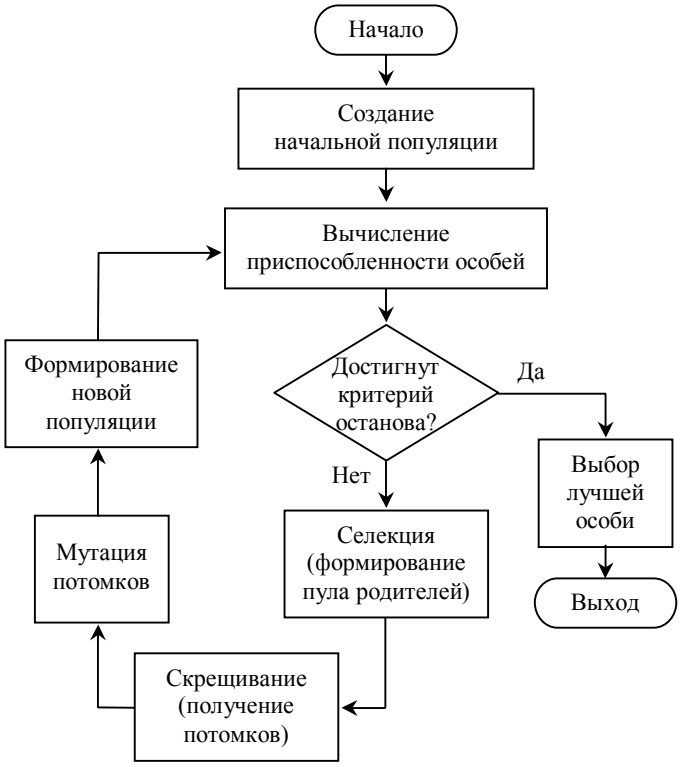


Рис.1. Блок-схема генетического алгоритма

Основные положения генетического алгоритма оптимизации. Генетический алгоритм отражает процесс селекции, в котором исследователь отбирает особи, обладающие необходимым ему признаком, и на их основе создает новую популяцию. Отличительный признак особи задается хромосомой – структурной единицей клетки. В задаче оптимизации под хромосомой понимается вектор-аргумент целевой функции. Каждая особь характеризуется ее приспособленностью.

Набор особей формируют популяцию. В основе работы алгоритма лежит отбор особей в родительский пул, который будет участвовать в формировании следующего поколения. Из полученного пула случайным образом выбираются два родителя, над которыми производится операция скрещивания, комбинирующая хромосомы родителей определенным образом. Полученная хромосома подвергается мутации, при которой каждый ген претерпевает случайные изменения. Таким способом формируется заданное число потомков, которые образуют новую популяцию. Затем операции селекции, скрещивания и мутации повторяются для новой популяции. Процесс отбора решений заканчивается, если отличия между лучшими решениями для двух поколений становятся меньше порогового значения. Схема генетического алгоритма показана на рис.1.

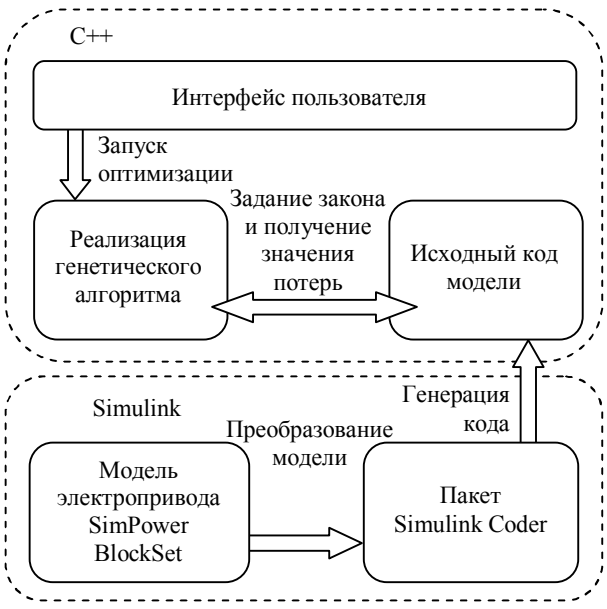


Рис.2. Функциональная схема программы оптимизации

Для получения оптимальной характеристики использовались вычислительные средства системы Matlab: среда Simulink, пакеты SimPower Blockset, Simulink Coder, язык программирования C++. Расчет целевой функции (1) для каждой пусковой характеристики производится с помощью модели электропривода, построенной из элементов пакета SimPower Blockset.

Генерация различных пусковых характеристик и управление процессом моделирования осуществлялись с помощью программы, структура которой показана на рис.2. Программа включает реализацию генетического алгоритма на языке C++, интерфейс управления моделированием и блок сопряжения модели привода и генетического алгоритма средствами пакета Simulink Coder. Интерфейс вычислитель-

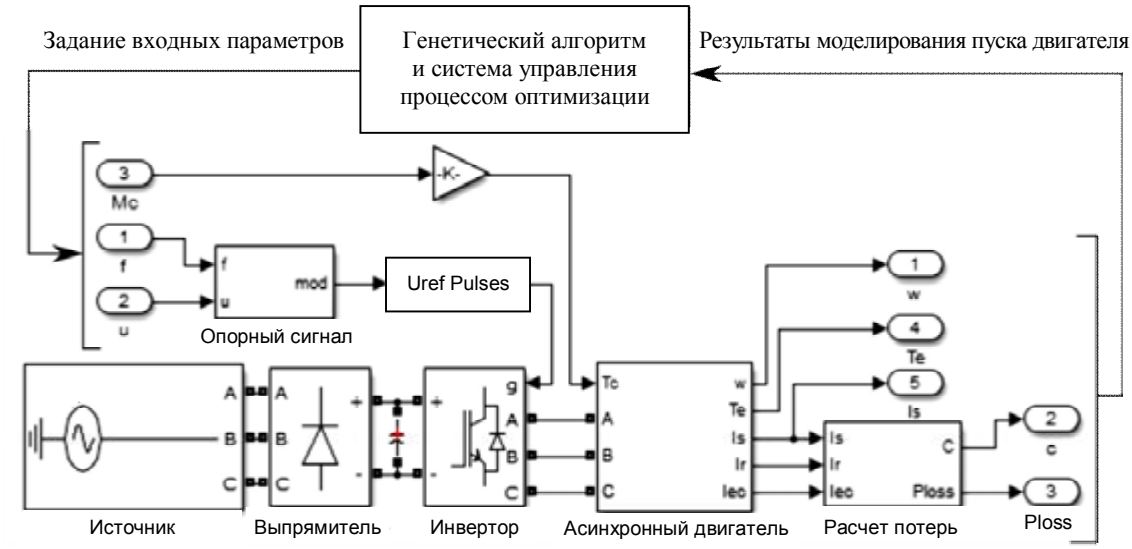


Рис.3. Модель частотно-регулируемого привода в среде Simulink и блок автоматического поиска оптимальной характеристики пуска на основе генетического алгоритма

ного блока позволяет осуществлять инициализацию модели, установку входных данных, запуск расчета и автоматический поиск оптимальной характеристики.

Модель электропривода. Схема электропривода, используемая в работе, показана на рис.3. Асинхронный двигатель представлен динамической моделью с учетом потерь в меди и стали двигателя [10]. Привод питается от источника напряжения с жесткой характеристикой. Привод включает неуправляемый выпрямитель, звено постоянного тока, ШИМ инвертор на базе IGBT-модулей, систему частотного управления и асинхронный двигатель с параметрами: $U = 400$ В, $P = 160$ кВт, $z_p = 2$, $R_s = 0{,}01379$ Ом, $R_r = 0{,}007728$ Ом, $R_{ec} = 50$ Ом, $L_{\sigma s} = 0{,}000152$ Гн, $L_{\sigma r} = 0{,}000152$ Гн, $L_m = 0{,}00769$ Гн, $J = 2{,}9$ кг·м^2.

Входами модели являются частота f и амплитуда u модулирующего сигнала ШИМ, а также момент сопротивления нагрузки M_c. Выходными сигналами служат скорость вращения ротора, электромагнитный момент и значение суммарных потерь энергии, вычисляемых по формуле

$$Q_d = \int_0^{t_n} P_d(t)dt\,,\; P_d(t) = i_s^2(t)R_s + i_r^2(t)R_r + i_{ec}^2(t)R_{ec}\,, \qquad (2)$$

где i_s, i_r – модули векторов токов статора и ротора; i_{ec} – модуль вектора тока параллельной ветви схемы замещения, учитывающей потери в стали с помощью сопротивления R_{ec}.

Моделирование проводилось для двух видов механической нагрузки – с постоянным моментом, не зависящим от скорости вращения, и нагрузки, момент сопротивления которой пропорционален квадрату частоты вращения ротора.

Реализация генетического алгоритма. Поиск оптимальной характеристики пуска производится в соответствии с блок-схемой работы генетического алгоритма (см. рис.1).

На первом этапе производится формирование первоначальной популяции, состоящей из N особей. Под особью в работе понимается отдельная пусковая характеристика. Особь характеризуется хромосомой, которой ставится в соответствие вектор амплитуды опорного сигнала ШИМ $\vec{u} = [u_1, u_2, \ldots, u_m]$. Отдельные значения вектора являются генами. Приспособленность (*fitness*) особи определяется по значению целевой функции, полученной в результате моделирования пуска двигателя

$$fitness(\vec{u}) = 1/Q_d(\vec{u})\,. \qquad (3)$$

Чем меньше потери энергии за время пуска при конкретной пусковой характеристике, тем выше приспособленность этой особи. Значения элементов векторов $\vec{u}$ в первоначальной популяции определяются случайным образом.

Далее происходит отбор особей для формирования нового поколения на основе рангового оператора селекции. Каждой особи присваивается ранг r согласно значению ее приспособленности. Особь с самым большим значением приспособленности получает наивысший ранг $r = 1$, с самым малым значением – наименьший ранг $r = N$. После этого происходит формирование пула родителей. В пул попадают несколько копий каждой особи. Число копий n зависит от ранга r, настроечных коэффициентов a, b и описывается функцией

$$n = ae^{-br}, \tag{4}$$

Применение формулы (4) обеспечивает селекционное преимущество пусковых характеристик с низкими значения целевой функции перед остальными характеристиками.

На следующем этапе происходит создание потомков. Для этого из родительского пула случайным образом выбираются два родителя с хромосомами $\vec{u}^{(1)}$, $\vec{u}^{(2)}$, которые используются для формирования хромосомы потомка $\vec{u}^{(c)}$ по следующему правилу: каждый элемент вектора потомка $u_i^{(c)}$ рассчитывается по соответствующим элементам векторов родителей $u_i^{(1)}$ и $u_i^{(2)}$, $i = 1, \ldots, m$:

$$u_i^{(c)} = 0{,}5\left[(1-\beta)u_i^{(1)} + (1+\beta)u_i^{(2)}\right];$$
$$\beta = \begin{cases} (2\nu)^{\frac{1}{\eta+1}}, & \text{если} \quad \nu \le 0{,}5 \\ (2(1-\nu))^{-\frac{1}{\eta+1}}, & \text{если} \quad \nu > 0{,}5, \end{cases} \tag{5}$$

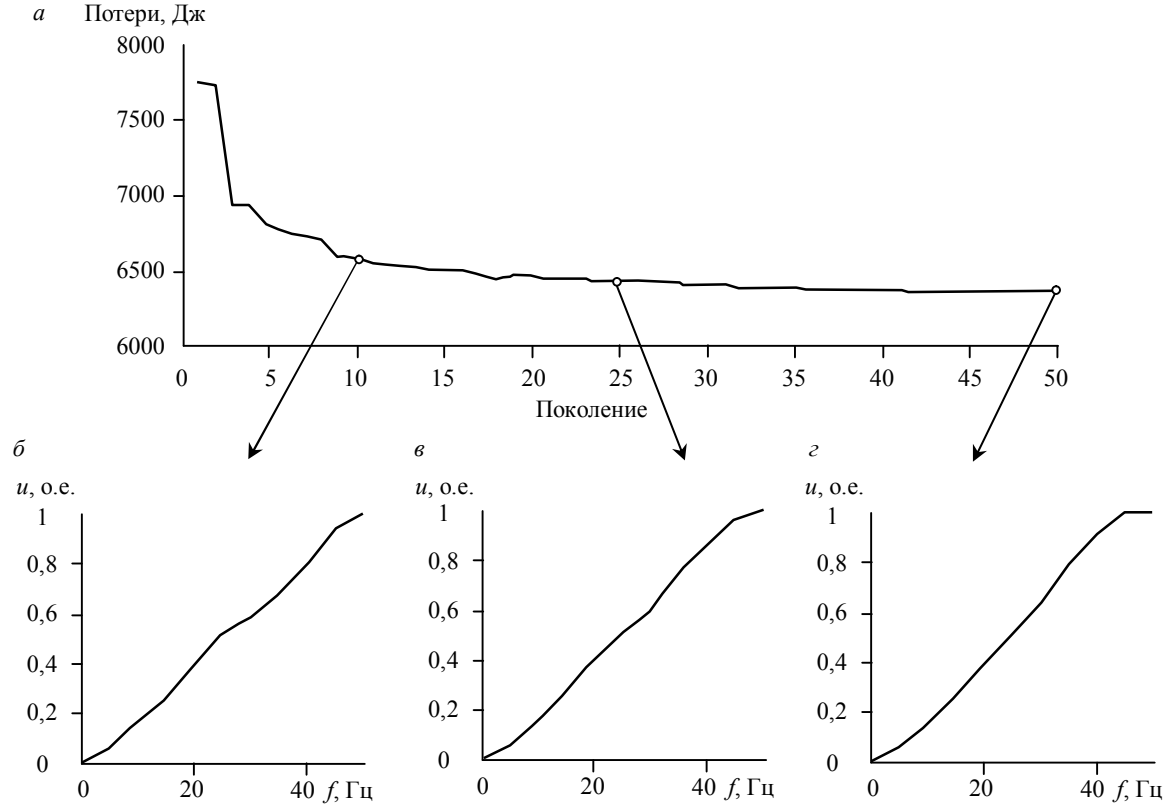


Рис.4. Поиск оптимальной пусковой характеристики с помощью генетического алгоритма

где ν – случайное число, равномерно распределенное на интервале $[0;1]$, $\eta = [2;5]$ – сила поиска.

Полученное значение гена находится в некоторой окрестности одного из родительских значений. Ширина окрестности определяется параметром η; чем выше значение силы поиска, тем ближе значение гена потомка к родительскому значению [8]. Скрещивание родителей производится до тех пор, пока не будет достигнут заданный размер популяции N.

Далее производится мутация потомков, при которой каждый ген u_i хромосомы $\vec{u}$ всех особей, полученных на предыдущем шаге, изменяется с вероятностью p_m. Новое значение элемента u_i случайным образом выбирается из диапазона $[u_i - kr;\ u_i + kr]$, где k – коэффициент мутации; $r = u_{\max} - u_{\min}$ – ширина диапазона допустимых значений элементов вектора $\vec{u}$.

Для нового поколения повторяется цикл преобразований за исключением первого этапа инициализации. Критерием остановки поиска служит стабилизация генетических свойств популяции.

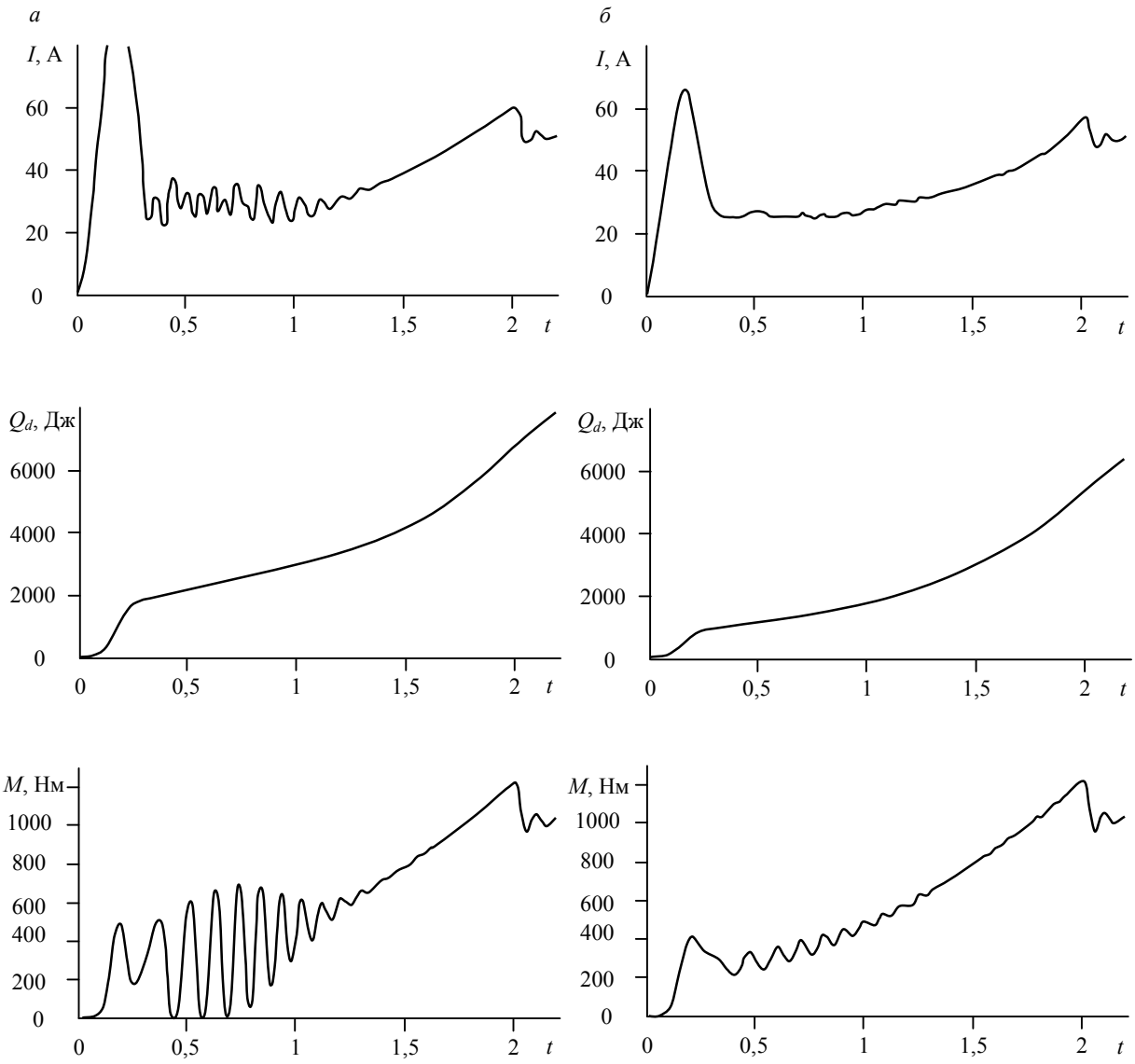


Рис.5. Изменение тока $I(t)$, энергии потерь $Q_d(t)$ и электромагнитного момента $M(t)$ при линейном законе пуска (*а*) и оптимальном (*б*)

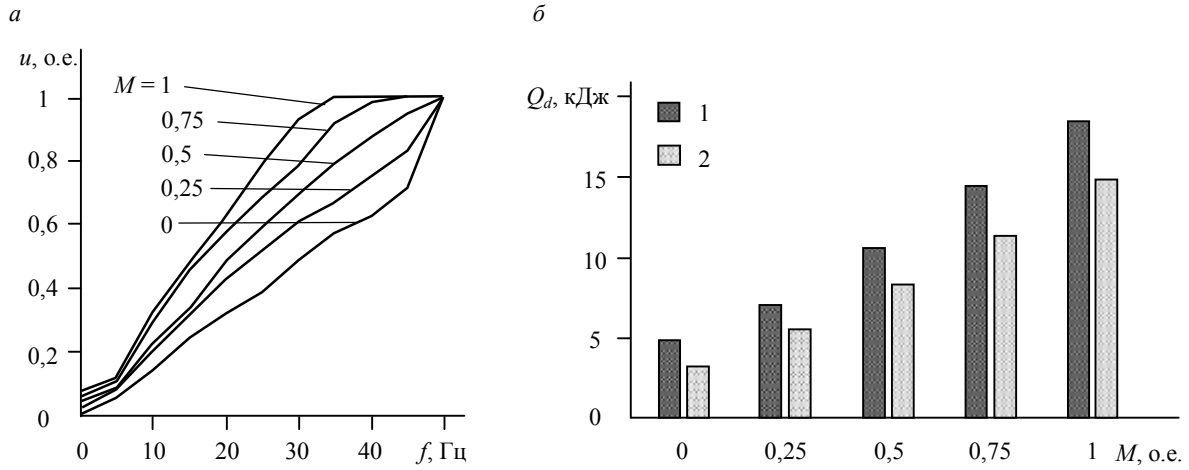


Рис.6. Оптимальные характеристики для постоянного момента сопротивления $\overline{M}_{\text{с}} = M_{\text{с}} / M_{\text{ном}}$ (*а*) и сравнение потерь энергии при линейной (1) и оптимальной (2) характеристике (*б*)

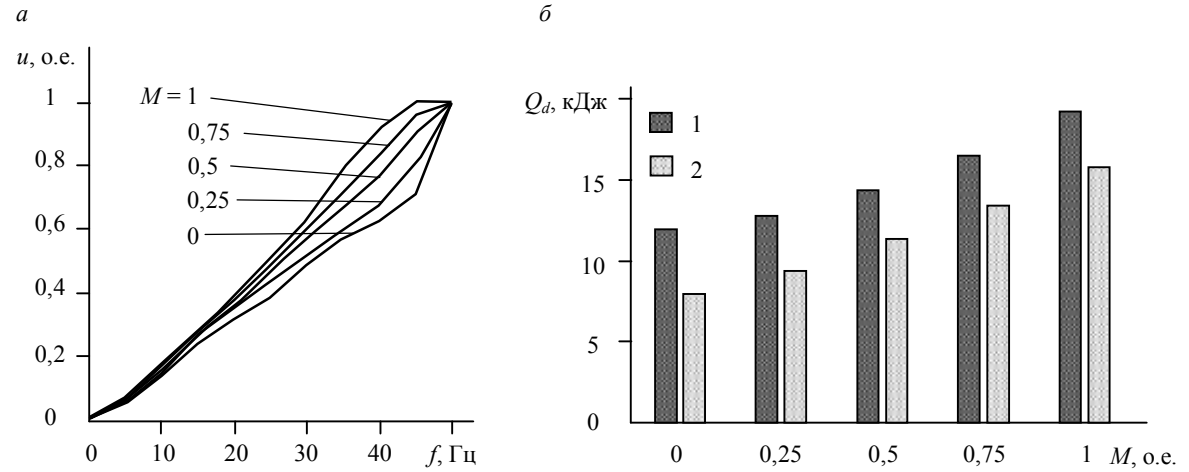


Рис.7. Оптимальные характеристики для вентиляторной нагрузки $\overline{M} = \overline{\omega}^2$ (*а*) и сравнение потерь энергии при линейной (1) и оптимальной (2) характеристике (*б*)

При поиске оптимальной характеристики пуска в работе использовались следующие параметры генетического алгоритма: размер популяции $N = 20$, вероятность мутации $p_m = 0{,}07$, коэффициент мутации $k = 0{,}04$, сила поиска $\eta = 2$, коэффициенты $a = 2$, $b = 0{,}1$. Параметры подобраны эмпирически по признаку максимальной скорости сходимости алгоритма.

Результаты моделирования. Рассмотрим получение оптимального закона пуска привода с вентиляторной характеристикой при номинальном моменте нагрузки. Поиск оптимального решения задачи иллюстрируется рис.4, на котором показано изменение целевой функции Q_d на интервале 50 поколений (рис.4, *а*) На рис.4 также приведены промежуточные результаты поиска оптимальной пусковой характеристики для 10, 25 и 50 поколений (рис.4, *б*, *в*, *г*).

На рис.5 представлена осциллограмма модуля вектора тока статора, а также изменение потерь энергии и электромагнитного момента при линейном законе пуска и законе, полученном с помощью генетического алгоритма оптимизации. Обработка осциллограмм показывает, что в случае линейной пусковой характеристики потребление энергии за время

пуска составляет 7,75 кДж, а при оптимальной характеристике – 6,38 кДж. Снижение потерь энергии за счет использования оптимальной характеристики на 18 % достигается за счет уменьшения токов статора и ротора. Дополнительный эффект от уменьшения пусковых токов состоит в снижении токовой нагрузки на ключи инвертора напряжения.

Из графиков электромагнитного момента следует, что уровень пульсаций в случае оптимальной характеристики заметно ниже пульсаций при линейном законе пуска двигателя.

Далее исследовалось влияние момента сопротивления и вида его зависимости от скорости вращения на форму оптимального закона управления пуском. На рис.6, *а* показан набор оптимальных характеристик пуска при различных значениях постоянного момента сопротивления. На рис.6, *б* приведена диаграмма потерь энергии при стандартной и оптимальной характеристике пуска, из которой следует, что использование оптимального закона позволяет значительно снизить потери энергии.

Аналогичные зависимости получены для приводного механизма с вентиляторной характеристикой. Оптимальные законы пуска приведены на рис.7, *а*. Сравнение потерь для двух способов пуска – при традиционной и оптимальной характеристике показано на рис.7, *б*.

Заключение

В работе рассмотен метод получения оптимальных пусковых характеристик по критерию минимума потерь в асинхронном электроприводе. Поиск оптимальной характеристики осуществляется с помощью расчетного блока, построенного в среде Matlab. Блок включает программу поиска оптимального решения на базе генетического алгорима оптимизации, блока Simulink Coder для сопряжения этой программы с моделью асинхронного привода SimPowerSystem и интерфейса управления моделированием для автоматического перебора вариантов решения.

Полученные характеристики позволяют добиться снижения потерь энергии за время пуска на 20 % по сравнению с линейной характеристикой, снизить пульсации электромагнитного момента, увеличить надежность и электромагнитную совместимость электропривода с сетью за счет снижения пусковых токов. Реализация оптимальных характеристик не требует модификации системы управления и легко сопрягается с системой управления современных преобразователей частоты. Предложенный подход может быть также использован для поиска оптимальных характеристик пуска частотно-регулируемого привода на основе двигателей другого типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Браславский И.Я.* Оптимизация пусковых процессов в системе «реальная сеть – ПЧ – АД» / И.Я.Браславский, А.В.Костылев, Д.В.Цибанов // Электроприводы переменного тока: Труды Международной пятнадцатой научно-технической конференции / Уральский федеральный университет им. первого Президента Росии Б.Н.Ельцина. Екатеринбург, 2012. С.175-178.

2. *Браславский И.Я.* Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я.Браславский, З.Ш.Ишматов, В.Н.Поляков. М.: ACADEMA. 2004. 202 с.

3. *Гашимов А.М.* Исследование влияния пуска мощных асинхронных двигателей газокомпрессорных установок на режим питающей электрической сети / А.М.Гашимов, Р.Н.Рахманов // Энергетика. 2012. №1. С.17-22.

4. *Минаков И.А.* Сравнительный анализ некоторых методов случайного поиска и оптимизации // Известия Самарского научного центра РАН. 1999. №2. С.286-293.

5. *Тягушев С.Ю.* Экспериментальное определение режимных параметров двухдвигательного привода и технологических показателей вибрационной щековой дробилки / С.Ю.Тягушев, О.Б.Шонин // Записки Горного института. 2010. Т.186. С.161-164.

6. Усовершенствование алгоритма частотного управления асинхронным двигателем / В.Н.Мелешкин, К.А.Никифоров, К.И.Скотников, И.С.Хромов // Электротехника. 2013. №1. С.36-42.

7. *Shonin O.B*. Increasing energy efficiency of mine ventilation systems via multipurpose control of a main fan adjustable speed electric drive / O.B.Shonin, V.S.Pronko // Annual of the University of Mining and Geology «St. Ivan Rilski». 2013. Vol.56. Part III. P.163-169.

8. *Herrera F*. Hybrid Crossover Operators for Real-Coded Genetic Algorithms: An Experimental Study / F.Herrera, M.Lozano, A.M.Sanchez // Soft Comput. 2005. N 9(4). P.280-298.

9. *Thanga Raj C.* Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor – A Review / Raj C.Thanga, S.P.Srivastava, Pramod Agarwal // International Journal of Computer and Electrical Engineering. 2009. Vol.1. N 1. P.61-70.

10. *Krishnan R*. Electric motor drives modelling, analysis and control. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2001. 626 p.

REFERENCES

1. *Braslavskij I.Ja.*, *Kostylev A.V.*, *Cibanov D.V*. Optimizacija puskovyh processov v sisteme «real'naja set' – PCh – AD» (*Start-up process optimization in the system «real electric grid – FC – IM»*). Jelektroprivody peremennogo toka: Trudy Mezhdunarodnoj pjatnadcatoj nauchno-tehnicheskoj konferencii. Ural'skii federal'nyi universitet im. pervogo Prezidenta Rosii B.N.El'tsina. Ekaterinburg, 2012, p.175-178.

2. *Braslavskij I.Ja.*, *Ishmatov Z.Sh.*, *Polyakov V.N*. Ehnergosberegayushchij asinhronnyj ehlektroprivod (*Energy-saving induction motor drive*). Moskow: ACADEMA. 2004, p.202.

3. *Gashimov A.M.*, *Rahmanov R.N*. Issledovanie vliyaniya puska moshchnyh asinhronnyh dvigatelej gazokompressornyh ustanovok na rezhim pitayushchej ehlektricheskoj seti (*An impact of gas compressor high-power IM start-up on electric grid*). Energetika. 2012. N 1, p.17-22.

4. *Minakov I.A*. Sravnitelnyj analiz nekotoryh metodov sluchajnogo poiska i optimizacii (*A comparative analysis of some random search and optimization methods*). Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. 1999. N 2, p.286-293.

5. *Tyagushev S.Yu*, *Shonin O.B*. Ehksperimentalnoe opredelenie rezhimnyh parametrov dvuhdvigatelnogo privoda i tekhnologicheskih pokazatelej vibracionnoj shchekovoj drobilki (*The experimental determination of technological parameters of a jaw crusher and a dual-motor drive*.). Zapiski Gornogo instituta. 2010. Vol.186, p.161-164.

6. *Meleshkin V.N.*, *Nikiforov K.A.*, *Skotnikov K.I.*, *Hromov I.S*. Usovershenstvovanie algoritma chastotnogo upravleniya asinhronnym dvigatelem (*Improvement of induction motor frequency control*). Elektrotekhnika. 2013. N 1, p.36-42.

7. *Shonin O.B.*, *Pronko V.S*. Increasing energy efficiency of mine ventilation systems via multipurpose control of a main fan adjustable speed electric drive. Annual of the University of Mining and Geology «St. Ivan Rilski». 2013. Vol.56. Part III, p.163-169.

8. *Herrera F.*, *Lozano M.*, *Sanchez A.M*. Hybrid Crossover Operators for Real-Coded Genetic Algorithms: An Experimental Study. Soft Comput. 2005. N 9(4), p.280-298.

9. *Thanga Raj C.*, *Srivastava S.P.*, *Pramod Agarwal*. Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor – A Review. International Journal of Computer and Electrical Engineering. 2009. Vol.1. N 1, p.61-70.

10. *R. Krishnan*. Electric motor drives modelling, analysis and control. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2001, p.626.

MINIMIZATION OF ENERGY LOSSES WHEN STARTING A VARIABLE FREQUENCY DRIVE THROUGH APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM OF OPTIMIZATION

O.B.SHONIN, *Dr. of Engineering Sciences*, *Professor*, *ninosh_eltech@mail.ru*
V.S.PRONKO, *Postgraduate student*, *pronko.vr@gmail.com*
National Mineral Resources University (Mining University), *St Petersburg*, *Russia*

In the face of energy lack and rising energy prices one of the priorities of current researches is to improve energy efficiency of electric drives, which are widely used in modern industrial plants. Existing methods of minimizing losses are mainly designed for stationary regimes. At the same time, the development of algorithms for reducing losses in transient and in particular starting

conditions is given little attention. Due to the high complexity of the description of the multivariate dynamic processes determining the optimal control laws is advantageously to be carried out using stochastic optimization methods. The work seeks to substantiate the optimal starting characteristics of an asynchronous drive based on a genetic algorithm. A feature of the proposed method of optimization is the use of multiple simulation experiments to find start-up characteristics which provide a minimum energy loss. Automation of the search is performed using the developed program, which includes a module of a genetic algorithm and a module for interfacing with the electric model in the MATLAB/Simulink environment. The program allows choosing the parameters of the genetic algorithm along with controlling the process of optimization.

Application of the proposed method allowed obtaining the optimal starting characteristics «voltage – frequency» in a tabular form with consequent linear approximation of the data. Increase in efficiency due to the proposed start up law has been confirmed by comparing the simulation results under conditions of using a traditional linear characteristic and derived optimal law. The estimation of losses reduction has been carried out at the drive load of different kind in a wide range of its variation.

***Key words*:** variable frequency drive, energy saving, optimization, genetic algorithm.