

При визначенні цільової функції систем керованого запуску ЕМС запропоновано використовувати принципи орієнтації на додану вартість. Запропоновано вирази для обчислення значень вхідних і вихідних продуктів, і показника ефективності процесу запуску ЕМС. Методом математичного моделювання отримані залежності енергоспоживання, зносу і показника ефективності запуску ЕМС від керуючого впливу. Показаний екстремальний характер цієї залежності

Ключові слова: керований запуск, енергоспоживання, зношування електродвигуна, показник ефективності запуску, існування екстремуму

При определении целевой функции систем управляемого запуска ЭМС предложено использовать принципы ориентации на добавленную стоимость. Предложены выражения для вычисления значений входных и выходных продуктов, и показателя эффективности процесса запуска ЭМС. Методом математического моделирования получены зависимости энергопотребления, износа и показателя эффективности запуска ЭМС от управляющего воздействия. Показан экстремальный характер этой зависимости

Ключевые слова: управляемый запуск, энергопотребление, износ электродвигателя, показатель эффективности запуска, существование экстремума

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА ЭЛЕКТРО- МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ЗАПУСКА

В. К. ТЫТЮК

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра электромеханики
Криворожский
национальный университет
ул. XXII Партсъезда, 11,
г. Кривой Рог, Украина, 50027
E-mail: dinalt2006@gmail.com

1. Введение

Режим пуска электромеханической системы, несмотря на свою кратковременность, является одним из наиболее ответственных, сложных и энергетически напряженных режимов работы, и определяет работоспособность системы в целом. Особую значимость пусковым процессам придает, с одной стороны, тот факт, что работа практически всех производственных процесса начинается с запуска именно электрического двигателя, а с другой стороны – широким спектром воздействий пускового процесса на разные аспекты работы электромеханической системы (ЭМС).

Пусковой режим электромеханической системы обладает целым рядом особенностей, которые выделяют его из традиционно рассматриваемых эксплуатационных режимов работы.

Процесс запуска является самым энергоемким процессом ЭМС.

Пусковые токи определяют особый режим нагрева при пуске, что сопровождается ускоренным износом изоляционной конструкции.

Знакопеременные составляющие электромагнитного момента приводят к ударам в механической передаче и усиленным вибрациям, что ускоряет износ подшипниковых узлов и изоляции лобовых частей обмоток. Процесс запуска снижает ресурс еще и технологического оборудования.

Предприятия может нести убытки из-за простоя оборудования после неудачного запуска, обусловлен-

ные недовыпуском продукции или остановки смежных потребителей из-за снижения качества напряжения при запуске.

Влияние пусковых процессов, особенно электроприводов большой мощности, на экономические показатели предприятия является недооцененным и мало изученным.

Снизить отрицательное влияние пусковых процессов призваны системы управляемого запуска ЭМС и теория построения таких систем. Однако развитие современных систем управляемого запуска замерло на уровне устройств, обеспечивающих линейную развертку параметров (напряжения и, возможно, частоты) питающего напряжения за установленное в настройках время. Такой режим запуска действительно имеет целый ряд преимуществ перед прямым запуском. Однако нет никаких оснований считать запуск такого рода оптимальным. Как минимум, плавный запуск длится намного дольше прямого пуска и снижает общую производительность технологической установки. В настоящее время не существует объективных критериев, позволяющих задать необходимую траекторию процесса запуска из множества доступных, предоставляемых управляемым источником питания.

Поэтому выявление общих особенностей и закономерностей пусковых режимов будет способствовать улучшению эксплуатационных свойств, повышению надежности, повышению энергетических характеристик электромеханических систем, что определяют общую актуальность настоящей работы.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В современной научно-технической литературе уделяется большое внимание различным аспектам задачи управляемого запуска ЭМС. В работе [1] рассмотрено влияние повышенного нагрева пусковыми токами на надежность электродвигателей. В работе [2] рассмотрено влияние показателей качества питающего напряжения на пусковые характеристики электродвигателей. В работах [3, 4] рассмотрены проблемы формирования момента сопротивления при запуске механизмов с тяжелыми условиями запуска и его преодоления. В работе [5] рассмотрено влияние процессов запуска на надежность и технический ресурс приводных электродвигателей и технологического оборудования.

Однако научных работ, обобщающих этот разногласный опыт, позволяющих учитывать весь спектр взаимодействия процесса запуска с окружающим технотенезом, не обнаружено.

В современной научной литературе принципиально не освещен вопрос о том, в чем же состоит полезность процесса запуска, каким образом эта полезность влияет на показатель качества траектории запуска.

Таким образом, задачу оптимизации процесса запуска ЭМС следует отнести к классу задач эффективности использования ресурсов, когда необходимо искать некоторый разумный компромисс между затратами электроэнергии, величиной износа электромеханического оборудования с одной стороны, и создаваемым процессом запуска полезным эффектом и его длительностью, с другой стороны.

Исторически одним из первых критериев качества процесса запуска является, безусловно, его продолжительность, минимизация которой приводит нас к задачам на отыскание минимума времени запуска. Как показал анализ научной литературы, наибольшей популярностью у современных исследователей пользуется линейная свертка параметров процесса с весовыми коэффициентами [6]. При этом весовые коэффициенты определяются, как правило, интуитивно, что снижает достоверность полученных результатов. Выдвинутая в [7] теория множественности моделей ставит под сомнение ценность использования критериев этого класса и требует использования принципа внешнего дополнения для ее проверки. Это обусловлено полным отсутствием теоретического обоснования для критерия, полученного сверткой параметров.

Говоря об оптимальных ЭМС, необходимо кардинальным образом изменить точку зрения на цели функционирования ЭМС. Процесс запуска ЭМС, занимая особое место среди эксплуатационных режимов ЭМС ввиду его высокой энерго- и ресурсоемкости, является лишь одним из многих процессов, выполняемых в ходе функционирования предприятия. Естественно, процесс запуска должен выполняться таким образом, чтобы наилучшим образом способствовать достижению системной цели предприятия. А эта цель, как и следовало ожидать, лежит не в технической, а в чисто экономической плоскости. Это мнение подтверждается выдвинутым в [8] «принципом ориентации на прибыль» при определении целевых функций. Говоря о внутренних технических подсистемах

предприятия, мы не имеем возможности оперировать понятием прибыли. Поэтому в качестве экономического показателя для таких подсистем целесообразно использовать величину добавленной стоимости, создаваемой рассматриваемой подсистемой.

По мнению автора [9], «у понятия оптимального управления техническими объектами нет «степеней свободы». Оптимальным является управление, при котором обеспечивается генерирование максимальной добавленной стоимости, что приводит к максимуму прибыли предприятия в целом».

В работе [10] обосновывается использование показателя эффективности преобразования ресурсов в качестве универсального критерия оптимального управления производственными подсистемами, обеспечивающего максимизацию прибыли предприятия. Этот критерий согласовывается с принципом ориентации на величину добавленной стоимости. В [10] разработаны аналитические выражения для вычисления показателя эффективности преобразования ресурсов.

Центральной научной проблемой, сдерживающей развитие теории оптимальных систем управляемого запуска ЭМС, является отсутствие критерия эффективности процесса запуска, охватывающего задачи влияния пусковых процессов на энергопотребление ЭМС, на снижение технического ресурса электротехнического и технологического оборудования ЭМС, на величину потенциальных экономических рисков из-за снижения качества напряжения при запуске.

3. Цель и задачи работы

Целью данной работы является развитие теории оценивания в плане адаптации критерия эффективности преобразования ресурсов к решению задач оптимального управления процессом запуска ЭМС, разработка архитектуры системы управляемого запуска ЭМС, которая обеспечивает формирование сигналов, необходимых для определения показателя эффективности преобразования ресурсов процесса запуска.

Задачами, решить которые необходимо для достижения поставленной цели, выбраны:

- разработка критерия эффективности, решающего задачу оптимизации пусковых процессов ЭМС;
- разработка алгоритмов вычисления сигналов, необходимых для определения критерия эффективности процесса запуска ЭМС;
- исследование процессов энерго- и ресурсопотребления управляемого запуска ЭМС методами математического моделирования.

4. Подсистемы, необходимые для формирования критерия эффективности системы управляемого запуска

Для осуществления процесса запуска ЭМС используется несколько разнородных видов ресурсов (входных продуктов). Перечислим основные из них:

1. При включении и разгоне электродвигателя используется электроэнергия, а сам процесс запуска сопровождается повышенным энергопотреблением.

2. Процесс запуска сопровождается ускоренным износом и сокращением технического ресурса электродвигателя, что вызвано повышенным нагревом пусковыми токами.

3. Процесс запуска сопровождается ускоренным износом и сокращением технического ресурса не только электродвигателя, но и технологического оборудования, что вызвано повышенными вибрационными нагрузками и ударами в механической передаче при запуске.

4. Процесс запуска вызывает дополнительные экономические риски, связанные с вероятностью остановки технологического оборудования при неудавшемся запуске или снижения производительности технологических установок, вызванные влиянием пусковых процессов на качество питающего напряжения.

В настоящей работе будет рассмотрено формирование показателя эффективности процесса запуска с учетом только двух первых видов входных продуктов. Влияние других факторов на эффективность процесса запуска будет рассмотрено в следующих статьях цикла.

Так как рассматриваемые входные продукты процесса запуска ЭМС рассматриваются в их количественном выражении, то их значения нельзя объединять между собой в рамках общих математических выражений из-за проблемы размерности.

Для преодоления проблемы размерности используем агрегирование входных и выходных продуктов с применением сопоставимых единиц измерения. Для технических систем в качестве таких единиц измерения целесообразно использовать стоимостные оценки, как экономически обоснованную разновидность метода экспертных оценок. При использовании этого подхода векторы продуктов ЭМС преобразуются в сигналы стоимостных оценок и агрегируются в одномерные сигналы суммарной стоимостной оценки продуктов.

4. 1. Подсистема вычисления потребленной электроэнергии

Теоретические представления о составляющих полной мощности в настоящее время все еще продолжают оставаться предметом многочисленных теоретических дискуссий, а представления о природе и формировании неактивных составляющих полной мощности до сих пор являются предметом для обсуждения.

В теоретической электротехнике однозначно определено только понятие активной мощности электрической цепи, определяемой как среднее значение полной мощности за период измерений:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt, \quad (1)$$

где T – период измерений;

полная мощность цепи может быть определена как произведение действующих значений тока и напряжения за тот же период измерений

$$S = \overline{U \cdot I}. \quad (2)$$

Неактивные составляющие энергии могут быть вычислены в соответствии с выражением

$$T = \sqrt{S^2 - P^2}. \quad (3)$$

Понятие «реактивная мощность» определено только для синусоидального режима в линейной электрической цепи, что не позволяет без серьезных допущений производить анализ режимов работы энергосистемы с потребителями, искажающими форму тока и напряжения, и ее определение до настоящего времени является предметом споров.

С учетом того факта, что неактивные составляющие полной мощности, такие как мощность искажения, обусловленная действием высших гармоник, также оказывают негативное воздействие на ЭМС, энергопотребление ЭМС в ходе запуска предлагается оценивать именно по полной мощности.

Для вычисления полной, активной и неактивной составляющих мощности был разработан специальный блок программы Simulink с использованием механизма пользовательских S-функций.

4. 2. Подсистема вычисления износа электродвигателя

Важной и относительно малоисследованной является проблема определения стоимостных оценок той части технологического оборудования, которая безвозвратно изнашивается в ходе выполнения поискового процесса ЭМС. Решение этой задачи усложняется тем фактом, что технологические режимы и нагрузочные показатели работы оборудования в процессе запуска изменяются в широких пределах.

На практике износ электромеханического оборудования происходит под влиянием не одного, а нескольких одновременно действующих факторов, а функционирование оборудования описывается вектором переменных состояния Q_i .

Выяснение каналов влияния переменных состояния ЭМС на износ электромеханического оборудования, уточнения функциональных зависимостей износа от значений переменных состояния является достаточно сложной научной задачей, которая, к сожалению, не может иметь единого аналитического решения.

Опираясь на некоторые общие модели поведения износа оборудования от значений переменных состояния ЭМС, рассмотренные выше, можно предложить упрощенную универсальную модель износа оборудования под влиянием вектора ненулевых переменных состояния ЭМС.

Основное предположение, принятое при создании модели износа сложного оборудования, заключается в том, что влияние отдельных переменных состояния на износ сложного оборудования не зависит от величины других переменных состояния.

Такое предположение позволяет определить зависимость износа сложного оборудования от многомерного вектора переменных состояния в виде линейной комбинации воздействий отдельных переменных состояния.

Математически это положение может быть выражено следующим образом

$$L(t) = I_0 \cdot \sum_{i=1}^N \gamma_i \cdot \int_0^t f(q_i(t)) dt, \quad (4)$$

де $i=1 \dots N$ – индекс переменной состояния, N – размерность вектора переменных состояния; γ_i – весовой

коэффициент влияния i -й переменной состояния на общий износ механизма.

Для вектора весовых коэффициентов γ должно выполняться равенство

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1. \tag{5}$$

Значения весовых коэффициентов практически могут быть получены с использованием метода экспертных оценок.

В реальных эксплуатационных условиях значения переменных состояния механизма могут отклоняться от номинальных значений. В условиях работы механизма в составе сложной управляемой системы изначально предполагается изменение переменных состояния механизма в широком диапазоне значений. Отклонение значения переменной состояния от номинального сопровождается и изменением влияния этой переменной на износ оборудования, причем эта зависимость всегда имеет нелинейный характер.

Для того чтобы учесть влияние на износ отклонения переменных состояния от их номинальных значений, введем понятие эффективного значения переменной, который собственно и приводит к эффекту износа оборудования. Эта переменная вводится таким образом, чтобы получить линейную зависимость износа оборудования от новой переменной во всем диапазоне изменения выходной переменной состояния, то есть $c \sim Q_{iЭ} \sim f(Q_i)$. Используем нормирование переменных состояния по номинальным значениям. Относительное эффективное значение i -й переменной состояния вычисляется следующим образом

$$q_{iЭ} = f_i(q_i), \tag{6}$$

где $q_{iЭ}$, q_i – эффективное и натуральное относительные значения i -й переменной состояния механизма. Конкретный вид функциональной зависимости f_i зависит от используемого механизма и может быть определен исходя из общетеоретических положений или путем экспериментальных исследований. Поскольку повышение интенсивности процесса приводит к ускоренному износу оборудования, и это положение достаточно универсальное, то зависимость износа от показателей интенсивности будет полиномиальное или даже степенную зависимость.

Независимо от конкретного вида функциональной зависимости f_i обязательное выполнение условия $q_{iЭ}(1) = 1$, то есть эффективное значение i -й переменной состояния для номинального значения этой переменной равно номинальному значению переменной состояния.

Тогда стоимостная оценка износа механизма за период $t_1 \leq t \leq t_2$ может быть определена следующим образом

$$L(t) = I_0 \cdot \alpha \cdot \sum \gamma_i \cdot \int_0^t f(q_i(t)) dt, \tag{7}$$

где α – стоимостная оценка единицы износа оборудования, которую несложно вычислить как отношение общей стоимости электромеханического оборудования к его номинальному ресурсу:

$$\alpha = \frac{C}{L_n}, \tag{8}$$

Рассмотрим предложенную методику применительно к определению стоимостной оценки эксплуатационного износа двигателя постоянного тока.

Для электродвигателей наиболее часто встречаются следующие основные причины отказов – износ изоляционной конструкции и износ подшипникового узла. Основное влияние на старение изоляции обмоток предоставляет их эксплуатационный нагрев рабочими токами, а на состояние подшипниковых узлов – динамическая грузоподъемность подшипника.

Указанные переменные состояния достаточно сложно измерять в практических условиях, поэтому целесообразно использовать в качестве переменных состояния значение тока якоря в качестве основного источника нагрева обмоток и угловой скорости или ускорения вращающейся части электропривода. Эти переменные состояния косвенно связаны с физическими величинами, которые непосредственно влияют на износ электрической машины.

При составлении модели вычисления износа в качестве переменных состояния для двигателя постоянного тока примем ток якоря I_a и угловую скорость ω . Приняв значение весового коэффициента воздействия тока якоря на общий износ механизма равным γ , получим, согласно (5), значение весового коэффициента для угловой скорости равным $(1-\gamma)$.

Тогда, в соответствии с выражением (7) получим следующее выражение для определения стоимостной оценки эксплуатационного износа для двигателя постоянного тока за период времени $t_1 \leq t \leq t_2$

$$C = I_0 \cdot \alpha \cdot \int_{t_1}^{t_2} [\gamma \cdot f_1(i_a) + (1-\gamma) \cdot f_\omega(\omega)] dt. \tag{9}$$

Структурная схема, реализующая уравнения (9) для электропривода постоянного тока, представленная на рис. 1.

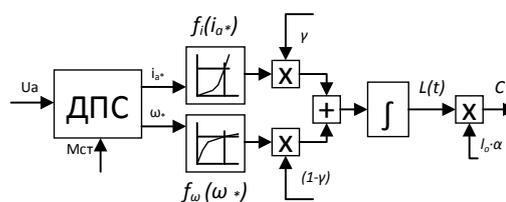


Рис. 1. Структурная схема определения стоимостной оценки эксплуатационного износа ДПТ по уравнению (9)

Необходимо отметить трудности реализации этой модели – отсутствуют сведения о характере функциональных зависимостей $f_1(i_a)$ и $f_\omega(\omega)$, определяющие зависимость износа оборудования при отклонении тока якоря и угловой скорости от их номинальных значений. В отсутствии достоверных данных можно принять квадратичный характер этих функциональных зависимостей: $f_1(i_a) = i_a^2$; $f_\omega(\omega) = \omega^2$.

4. 3. Выходной продукт процесса управляемого запуска

Существенным отличием ЭМС управляемого запуска от прочих производственных подсистем является

то, что она создает уникальный, присущий только этой системе выходной продукт, который проявляется в виде кинетической энергии движущихся частей ЭМС. Очевидно, что механизм, находящийся в состоянии равномерного движения обладает более высокой ценностью, чем тот же механизм, находящийся в состоянии покоя.

Особенностью формирования этого выходного продукта процесса запуска является то, что он не создается непрерывно в процессе запуска. Этот выходной продукт принимает свое полное значение в момент достижения порогового значения скорости движения. Если это пороговое значение скорости не достигнуто, то запуск является неудачным и не создает никакого положительного эффекта. Процесс формирования выходного продукта процесса запуска и реализующая его функциональная схема представлены на рис. 2.

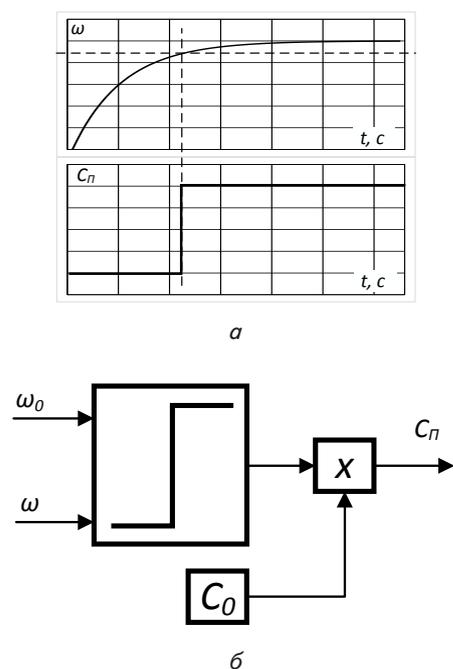


Рис. 2. Принцип формирования и структурная схема определения выходного продукта процесса запуска: а – принцип формирования выходного продукта процесса запуска; б – функциональная схема, реализующая этот принцип

В общем случае в процессе запуска может выполняться основной технологический процесс, например, осуществляться некоторое перемещение груза. Поэтому при определении выходного продукта процесса управляемого запуска в общем случае необходимо учитывать наличие вектора выходных продуктов технологического процесса, выполняемого ЭМС.

4. 4. Выбор базового показателя эффективности процесса запуска и его адаптация к решению задач управления процессом запуска ЭМС

В работе [10] для определения показателя эффективности простых целевых операций предлагается использование следующего упрощенного аналитического выражения:

$$kE = \frac{(pe - re)^2}{pe \cdot re \cdot te^2}, \tag{10}$$

где re – стоимостная оценка входных продуктов операции; pe – стоимостная оценка выходных продуктов операции; te – время операции.

Применительно к процессу запуска ЭМС, время операции te равняется общей длительности пуска.

Существенным отличием процесса запуска от идеализированных целевых операций, рассмотренных в [10], является существование экономических рисков, вызванных процессом запуска, обусловленных недопуском продукции из-за снижения качества напряжения при запуске. Эта составляющая оказывает существенное влияние на создаваемую процессом запуска добавленную стоимость и, в то же время не относится ко входным или выходным продуктам, используемым ЭМС в процессе запуска. Также следует учитывать стохастический характер величины экономических рисков. Выражение для критерия эффективности процесса запуска, будет отличаться от (10) тем, что в его структуре экономические риски предприятия, вызванные запуском, учитываются в виде штрафной функции fe в числителе соответствующего выражения. С учетом изложенного, показатель эффективности процесса запуска может быть представлен в следующей форме:

$$kE = \text{sign}(pe - re - fe) \cdot \frac{(pe - re - fe)^2}{pe \cdot re \cdot te^2}, \tag{11}$$

Знаковая функция в выражении (11) позволяет сформировать корректный знак показателя эффективности процесса запуска в аварийной ситуации, когда функция штрафа fe принимает достаточно большие значения.

5. Исследование характеристик процесса запуска на математической модели

Описанные выше алгоритмы определения количественных и стоимостных оценок основных видов входных и выходных продуктов несложно реализовать в виде дополнения к математической модели регулируемого электропривода с целью исследования зависимости этих показателей от управляющих воздействий.

Для упрощения процесса реализации достаточно адекватной модели регулируемого электропривода реализуем эту модель в программе Matlab/Simulink с применением расширения SimPowerSystems, с помощью которой наиболее просто реализовать модель силовой части управляемого электропривода. На рис. 3 приведена схема виртуальной математической модели электропривода постоянного тока с тиристорным выпрямителем.

В нижней части приведены реализованные в виде подсистем блоки вычисления потребленной электроэнергии S Energy, блок вычисления износа оборудования Equipment Wear, блок вычисления стоимостных оценок входных и выходных продуктов процесса запуска RE и PE, блок вычисления длительности процесса запуска Top, блок вычисления показателя эффективности процесса запуска kE.

В качестве параметра управления рассматривалось изменение времени линейной развертки управляющего напряжения преобразователя.

В этой модели использовался двигатель постоянного тока независимого возбуждения со следующими параметрами: номинальная мощность – 100 кВт; номинальное напряжение якоря – 305 В; номинальный ток якоря – 360 А; номинальная частота вращения – 750 об/мин.

На рис. 4 приведены осциллограммы прямого запуска ТП-Д с номинальным напряжением и плавный пуск ТП-Д со временем развертки управляющего на-

пряжения от 0 до максимального значения за время $t_p=2$ с, подтверждающие адекватность предложенной математической модели.

С помощью математической модели рис. 3 были выполнены исследования зависимости количественных оценок рассмотренных типов входных продуктов, длительности процесса запуска и показателя эффективности процесса запуска, рассчитанного по формуле (11), от времени линейной развертки управляющего напряжения t_p . Результаты выполненных исследований приведены на графиках рис. 5.

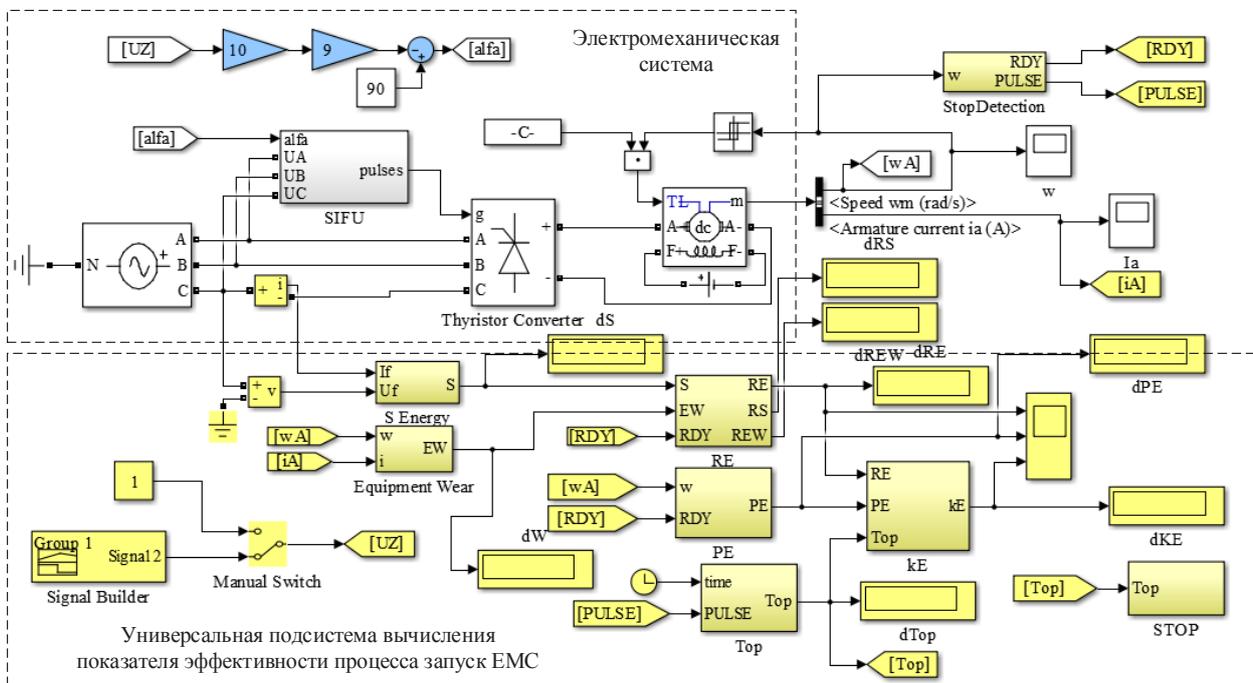


Рис. 3. Структурная схема виртуальной математической модели системы управляемого запуска с электроприводом постоянного тока

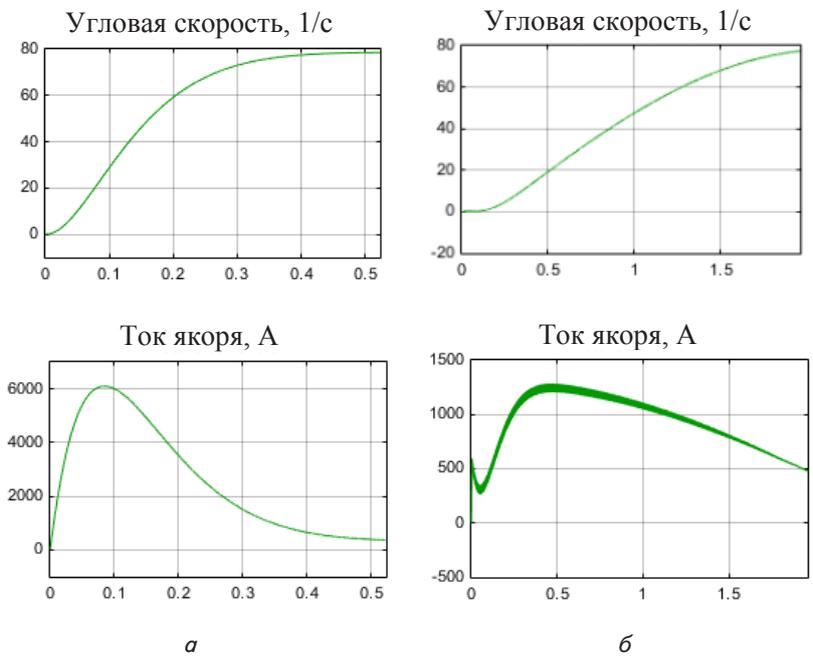


Рис. 4. Осциллограммы процессов запуска ТП-Д, полученные на математической модели: а – прямой пуск; б – плавный пуск с $t_p=2$ с

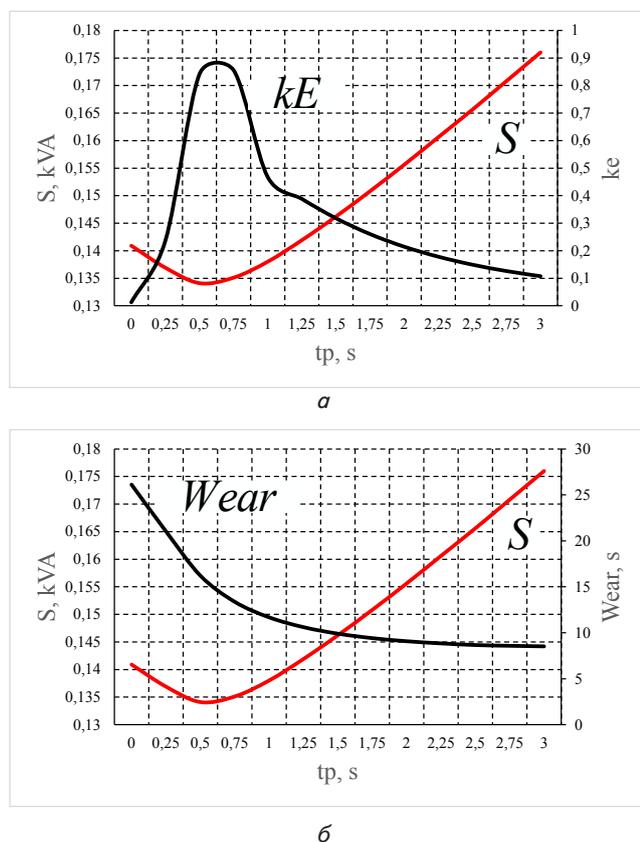


Рис. 5. Зависимость показателей процесса запуска от времени линейной развертки t_p : а — зависимость потребляемой электроэнергии и износа оборудования от времени линейной развертки t_p ; б — зависимость потребляемой электроэнергии и показателя эффективности процесса запуска от времени линейной развертки t_p

С увеличением времени развертки управляющего напряжения износ оборудования монотонно снижается, зато практически монотонно возрастает потребление электроэнергии. Наличие минимума энергопотребления имеет место только для электропривода постоянного тока, для асинхронного электропривода эта зависимость монотонна.

Зависимость показателя эффективности от управляющего воздействия имеет явно выраженный максимум, причем положение этого максимум на оси абсцисс не совпадает с положением минимума кривой энергопотребления.

6. Выводы

1. Установлено, что показатель эффективности процесса запуска ЭМС может быть определен на основании интегральных значений стоимостных оценок входных и выходных продуктов процесса запуска, определяемых за время, равное длительности запуска.

2. В ходе исследования определена структура входных и выходных продуктов процесса запуска ЭМС, предложены уравнения для определения количественных характеристик входных и выходных продуктов и реализующие их структурные схемы.

Предложен универсальный подход к определению стоимостной оценки износа электромеханического оборудования в процессе запуска, позволяющий учесть его ускоренный износ, связанный с воздействием пусковых токов и моментов.

3. Разработана математическая модель регулируемого электропривода постоянного тока, дополненная элементами, необходимыми для вычисления количественных и стоимостных оценок входных и выходных продуктов, их интегрирования за период запуска, определения длительности процесса запуска и вычисления показателя эффективности процесса запуска.

В ходе исследований разработанной математической модели установлен характер зависимости потребления электроэнергии и износа оборудования в зависимости от управляющего воздействия; эти зависимости носят монотонный характер и изменяются в противоположных направлениях, что не позволяет реализовать управление процессом запуска по какому-то одному из этих показателей.

Зависимость показателя эффективности процесса запуска от управляющего воздействия носит явно выраженный экстремальный характер, что дает возможность построения в дальнейшем оптимальных систем управления процессом запуска ЭМС.

Литература

1. Tavner, P. Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines [Text] / P. Tavner, L. Ran, J. Penman, H. Sedding. – Institution of Engineering and Technology (IET), 2008. – 304 p. doi: 10.1049/pbpo056e
2. Trigeassou, J.-C. Electrical Machines Diagnosis [Text] / J.-C. Trigeassou. – John Wiley & Sons, 2013. – 352 p. doi: 10.1002/9781118601662
3. Черный, А. П. Мониторинг параметров электрических двигателей электромеханических систем [Текст] / А. П. Черный, Д. И. Родькин, А. П. Калинов, О. С. Воробейчик. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2008. – 246 с.
4. Клепиков, В. Б. К природе автоколебательных режимов в электроприводах шаровых мельниц [Текст] / В. Б. Клепиков, Ю. Н. Кутовой // Науковий вісник Дніпропетровського національного гірничого університету. – 2004. – Вип. 3. – С. 29–30.
5. Гладырь, А. И. Экспериментальные пусковые характеристики насосного агрегата с учетом момента трогания [Текст] / А. И. Гладырь // Вісник Кременчужського державного політехнічного університету. – 2003. – 2 (19). – С. 247–249.
6. Von zur Gathen, J. Modern Computer Algebra [Text] / J. von zur Gathen, J. Gerhard. – Cambridge: University Press, 2003. – 785 p. doi: 10.1017/cbo9781139856065
7. Ивахненко, А. Г. Самоорганизации прогнозирующих моделей [Текст] / А. Г. Ивахненко, Й. А. Мюллер. – Берлин: ФЭБ Ферлаг Техник, 1984. – 223 с.

8. Lee, T. H. Computer process control: modeling and optimization [Text] / T. H. Lee, G. E. Adams, W. M. Gaines. – Wiley, 1968. – 386 p.
9. Lutsenko, I. Optimal control of systems engineering. Development of a general structure of the technological conversion subsystem (part 2) [Text] / I. Lutsenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 1, Issue 2 (73). – P. 43–50. doi: 10.15587/1729-4061.2015.36246
10. Lutsenko, I. Identification of target system operations. Development of global efficiency criterion of target operations [Text] / I. Lutsenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 2, Issue 2 (74). – P. 35–40. doi: 10.15587/1729-4061.2015.38963

Розробка критерію ефективності використання ресурсів дозволяє ідентифікувати об'єкт дослідження і визначити найефективнішу цільову операцію. У роботі пошук оптимального здійснюється на конкретному прикладі – технологічній операції порційного нагріву рідини. Наведено методикку визначення величини зносу механізму для нагріву рідини. Показано, як змінюється положення оптимального управління при зміні вартісної оцінки одного з вхідних продуктів

Ключові слова: оптимальне управління, сигнатура мети, цільова операція, ефективність, ефективність використання ресурсів

Разработка критерия эффективности использования ресурсов позволяет идентифицировать объект исследования и определить самую эффективную целевую операцию. В работе поиск оптимального осуществляется на конкретном примере – технологической операции порционного нагрева жидкости. Приведена методика определения величины износа механизма для нагрева жидкости. Показано, как изменяется положение оптимального управления при изменении стоимостной оценки одного из входных продуктов

Ключевые слова: оптимальное управление, сигнатура цели, целевая операция, эффективность, эффективность использования ресурсов

UDC 62-1/-9.007.005.1

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.54432

IDENTIFICATION OF TARGET SYSTEM OPERATIONS. THE PRACTICE OF DETERMINING THE OPTIMAL CONTROL

I. Lutsenko

Doctor of Technical Sciences,
Associate Professor*

E-mail: delo-do@i.ua

E. Fomovskaya

PhD, Associate Professor,
Head of Department*

E-mail: fill.fo@mail.ru

*Department of Electronic Devices
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi
National University
Pervomaiskaya str., 20,
Kremenchuk, Ukraine, 39600

1. Introduction

Improvement of the competitiveness of an enterprise largely depends upon the efficiency of its current performance. The maximum capacity can be achieved only if the operation objectives of all the plant systems are coordinated and the processes in these systems are based on the common criterion of optimization.

The designed model of an extended target operation [1] allowed working out the common criterion for the resource efficiency [2]. However, the technology of its practical application involves a number of issues that require detailed explanations. The problems include design of the architecture of a controlled system [3] and estimation of the cost of technology products, particularly the depreciation of the working mechanism that performs the basic function in the system under research.

The object of study is the process of heating a portion of liquid. The choice is due to the inertia of the object (which is important for the required precise measurements), a suffi-

cient number of the degrees of freedom necessary for optimal control, the dependence of product quality upon the time of operation, and an available analytical determining of the wear-out rate for the heating mechanism.

2. Analysis of the scientific references and formulation of the problem

The overall trend of the system engineering is viewing the controlled systems as objects, the technological processes in which are subject to optimization [4].

The practical use of the principles of optimal control is hampered by ambiguity that results from the substitution of notions, when the search for the extrema is defined as the optimum search.

At the same time there exist five main variants. Selection of control is based on the following factors: (1) the search for the extrema of a technical parameter [5], (2) the economic indices (of profit, cost, and efficiency), (3) a synthetic in-