

В.А. Лебедев, Г.В. Жук, Н.Я. Островерхов, А.М. Халимовский

УПРАВЛЕНИЕ КООРДИНАТАМИ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМОВ ПОДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Дослідження показали, що використання стандартного налаштування контуру швидкості на симетричний оптимум системи керування механізмом подачі автоматизованого зварювального обладнання забезпечує частоту імпульсної подачі електродного дроту до 60 Гц та покращення якості зварних з'єднань. На основі концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією функціоналу миттєвого значення кінетичної енергії синтезовано регулятор швидкості, що дозволило підвищити частоту імпульсів до 100 Гц при відпрацюванні необхідного лінійного переміщення дроту. Це істотно розширює можливості зварювання і наплавлення. Система керування механізмом подачі дроту реалізована на основі безредукторного вентильного електропривода. Бібл. 16, рис. 6.

Ключові слова: вентильний електропривод, система автоматичного керування, налаштування регуляторів, механізм імпульсної подачі дроту, зварювальне обладнання.

Исследования показали, что использование стандартной настройки контура скорости на симметричный оптимум системы управления механизмом подачи автоматизированного сварочного оборудования обеспечивает частоту импульсной подачи электродной проволоки до 60 Гц и улучшение качества сварных соединений. На основе концепции обратных задач динамики в соединении с минимизацией функционала мгновенного значения кинетической энергии синтезирован регулятор скорости, что позволило повысить частоту импульсов до 100 Гц при отработке требуемого линейного перемещения проволоки. Это существенно расширяет возможности электродуговой сварки и наплавки. Система управления механизмом подачи проволоки реализована на основе безредукторного вентильного электропривода. Библ. 16, рис. 6.

Ключевые слова: вентильный электропривод, система автоматического управления, настройка регуляторов, механизм импульсной подачи проволоки, сварочное оборудование.

Введение. Механизированная и автоматическая электродуговая сварка и наплавка с использованием электродной проволоки постоянно совершенствуется на основе технических и технологических нововведений [1, 2]. Одним из направлений улучшения показателей качества сварки и наплавки является применение импульсных методов воздействия на дуговой процесс, которые осуществляются как за счёт источника сварочного тока [3, 4] так и импульсной подачи электродной проволоки [5, 6]. Актуальность поиска технических решений, обеспечивающих увеличения частоты импульсов подачи проволоки выше 60 Гц для требуемого диапазона линейного перемещения за импульс, обусловлена задачей повышения показателей качества сварки и наплавки [7]. Одним из основных направлений совершенствования технологии сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки является применение быстродействующих безредукторных компьютеризованных электроприводов на основе вентильных электродвигателей. В работе на основании концепции обратных задач динамики (КОЗД) в соединении с минимизацией локальных функционалов мгновенных значений энергий выполнен синтез системы управления импульсной подачи электродной проволоки с вентильным электроприводом (ВЭП). На основании компьютерного моделирования динамических процессов системы с помощью MATLAB/ Simulink получены удовлетворительные результаты работы, в частности, быстродействия столь необходимого для получения импульсов движения электродной проволоки для управления переносом капель электродного металла в управляемом режиме в сварочную ванну. Проведён сравнительный анализ результатов работы с системой управления на основе стандартной настройки регуляторов.

Особенности управления механизмами подачи проволоки основе ВЭП. Перспективность направления обусловлена управлением переносом

электродного металла и связанных с ним следующих основных преимуществ процесса [8]:

- возможность существенного улучшения структуры металла шва и наплавленного слоя;
- реализация задачи управление формой сварного соединения, величиной усиления и проплавления;
- снижение энерго- и ресурсозатрат.

Реализация процесса управляемой импульсной подачи может осуществляться несколькими способами с применением разных систем. В последнее время наиболее рациональным техническим решением для получения регулируемой импульсной подачи является применение механизмов подачи на основе вентильных электродвигателей специальной разработки с обычным безредукторным механизмом роликотом движителей и компьютеризованной системой управления [9].

Исследование характеристик процесса сварки с применением вентильного электропривода со стандартными настройками регуляторов позволило определить, что частота импульсной подачи с определённым шагом перемещения электродной проволоки в значительной мере влияет на результаты сварки наплавки практически по всем показателям. Для примера, частично описанного в [10], на рис. 1 представлены микрошлифы поперечных разрезов валиков, выполненных на легированных сталях при различных частотах подачи электродной проволоки.

Анализ микрошлифов показывает, что при импульсной подаче резко снижается рост кристаллов, увеличивается их дезориентация, что ведёт к повышению прочности и износостойкости наплавленного или свариваемого изделия [11].

Из результатов цикла проведенных исследований, очевидно, что механизм подачи электродной проволоки должен иметь широкий диапазон частот подачи электродной проволоки.

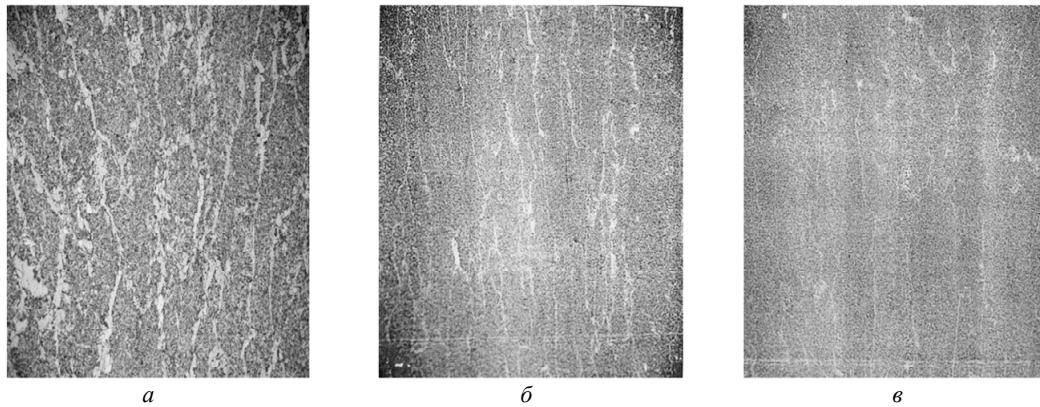


Рис. 1. Микроструктуры наплавленных валиков (X200) при частотах импульсной подачи: а – 0; б – 28 Гц; в – 45 Гц

Цель работы состоит в повышении качества работы механизма подачи электродной проволоки для улучшения характеристик дугового процесса путем разработки методики настройки регулятора для увеличения быстродействия контура скорости электропривода подачи.

Применение стандартных настроек ВЭП механизированного и автоматического сварочного оборудования обеспечивает частоту неискажённой подачи электродной проволоки в импульсном режиме работы до 60 Гц. Увеличение частоты подачи проволоки позволяет повысить показатели качества сварных изделий – формирование сварного соединения, снижение потерь электродного металла, повышение механических свойств сварного соединения.

Математическая модель системы управления ВЭП. При исследовании системы автоматического управления (САУ) подачей электродной проволоки вентильный электродвигатель описывается математической моделью машины постоянного тока с независимым возбуждением [15, 16]. Стандартная САУ имеет двухконтурную структуру системы подчиненного регулирования, состоящую из внутреннего контура регулирования тока с релейным регулятором РРТ и внешнего контура регулирования скорости с П-регулятором, показанную на рис. 2. Динамические процессы в САУ описываются следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} M - M_{st} = J \cdot p \cdot \omega; \\ I = \frac{(U - E)}{R_f \cdot (T_f \cdot p + 1)}; \\ U = \frac{(I^* - K_1 \cdot I) \cdot K_{dr}}{R_f \cdot (T_\mu \cdot p + 1)}; \\ E = cF \cdot \omega; \\ M = cF \cdot I; \\ I^* = (\omega^* - K_2 \cdot \omega) \cdot K_g, \end{cases}$$

где ω^* , ω – задание скорости и скорость вращения двигателя; I^* , I – задание контура тока и ток двигателя; M – электромагнитный момент электродвигателя; M_{st} – момент сопротивления на валу электродвигателя; U – выходное напряжение силового преобразователя; E – ЭДС электродвигателя; K_g – коэффициент усиления П-регулятора скорости; K_{dr} – коэффициент передачи силового преобразователя; T_μ – постоянная времени преобразователя; K_1 , K_2 – коэффициенты обратных связей по току и скорости; R_f – линейное активное сопротивление электродвигателя в нагретом состоянии; T_f – постоянная времени фазы электродвигателя; cF – коэффициент возбуждения электродвигателя; J – суммарный момент инерции, приведенный к валу электродвигателя; p – оператор Лапласа.

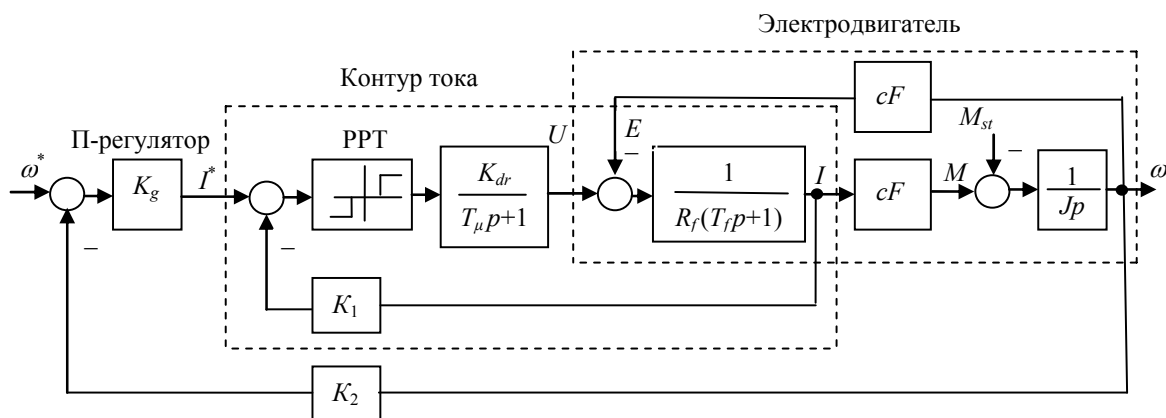


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления скоростью вентильного электропривода подачи проволоки

Синтез закона управления скоростью ВЭП методом обратных задач динамики. Анализ методов синтеза замкнутых систем управления показал, что

использование нестандартного алгоритма управления, синтезированного на КОЗД в соединении с минимизацией локальных функционалов мгновенных значений

энергий, позволяет повысить качество управления и частоту подачи проволоки. Законы управления на основании КОЗД обеспечивают также слабую чувствительность к параметрическим и координатным возмущениям, осуществляют динамическую декомпозицию взаимосвязанной системы и просты для реализации, так как не содержат операций дифференцирования [12-14]. Преимуществом метода синтеза является определение законов управления без традиционного решения оптимизационной задачи. Законы управления определяются видом дифференциального уравнения объекта и видом дифференциального уравнения, с помощью которого задается желаемое качество переходного процесса замкнутого контура управления.

Согласно рис. 2 контур скорости состоит из оптимизированного внутреннего контура тока и интегрирующего звена, представляющего электромеханическую часть электропривода. На вход контура поступает сигнал задания скорости ω^* . При разработке закона управления регулятора скорости не учитывается инерционность оптимизированного контура тока в виде модели апериодического звена 1-го порядка с малой постоянной времени T_1 . Однако после завершения синтеза производится анализ ее влияние на показатели качества управления. После таких допущений объект управления регулятора скорости описывается следующим дифференциальным уравнением первого порядка

$$\dot{\omega} = \frac{cF}{J} I^*. \quad (1)$$

Для объекта первого порядка (1) порядок уравнения желаемого качества управления скоростью также принимается равным единице

$$\dot{z} + \alpha_0 z = \alpha_0 \omega^* \quad (2)$$

с обеспечением астатизма первого порядка и заданной добротностью по скорости равной

$$D_\omega^* = \alpha_0. \quad (3)$$

Требуемая длительность t_{mn} апериодического переходного процесса скорости задается с помощью единственного коэффициента уравнения (2)

$$t_{mn} \approx 3 / \alpha_0.$$

Необходимо найти управляющую функцию регулятора скорости I^* , чтобы качество управления скоростью ω приближалось к желаемому, заданному уравнением (2). Степень приближения реального процесса к желаемому оценивается функционалом, который характеризует нормированную по моменту инерции энергию первой производной кинетической энергии

$$G(I^*) = \frac{1}{2} [\dot{z}(t) - \dot{\omega}(t, I^*)]^2 \quad (4)$$

Минимизация функционала осуществляется по градиентному закону первого порядка

$$\frac{dI^*(t)}{dt} = -\lambda_\omega \cdot \frac{dG(I^*)}{dI^*}, \quad (5)$$

где $\lambda_\omega > 0$ – константа.

Производная функционала с учетом (1) и (2) равна

$$\frac{dG(I^*)}{dI^*} = \frac{cF}{J} \cdot (z - \dot{\omega}). \quad (6)$$

После подстановки (6) в (5) находится закон управления скоростью

$$\dot{I}^*(t) = k_\omega (z - \dot{\omega}), \quad (7)$$

где $k_\omega = cF \cdot \lambda_\omega / J$ – коэффициент усиления регулятора скорости.

Переменная z в (7) играет роль требуемого ускорения, которое определяется в реальном времени из уравнения желаемого качества (2) путем замыкания обратной связью по скорости $z = \omega$

$$\dot{z} = \alpha_0 \cdot (\omega^* - \omega). \quad (8)$$

Закон управления скоростью принимает окончательный вид после интегрирования обеих частей уравнения (7) с учетом (8)

$$I^*(t) = k_\omega \cdot (z - \omega);$$

$$z = \alpha_0 \int (\omega^* - \omega) dt. \quad (9)$$

Структурная схема регулятора скорости, построенная на основании (9), показана на рис. 3.

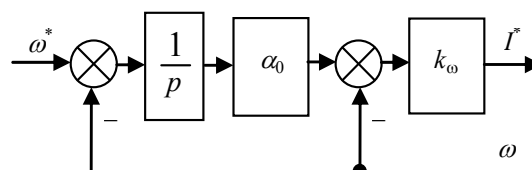


Рис. 3. Структурная схема регулятора скорости

Регулятор скорости содержит только параметр α_0 желаемого закона управления и не содержит параметров объекта управления, что характерно для классических законов управления.

Уравнение замкнутого контура скорости

$$\ddot{\omega} + \frac{cF}{J} \cdot k_\omega \cdot \dot{\omega} + \frac{cF}{J} \cdot k_\omega \cdot \alpha_0 \cdot \omega = \frac{cF}{J} \cdot k_\omega \cdot \alpha_0 \cdot \omega^*, \quad (10)$$

полученное после подстановки в уравнение объекта (1) закона управления (9), показывает, что замкнутая система (10) является устойчивой даже при неограниченном увеличении коэффициента усиления регулятора скорости $k_\omega \rightarrow \infty$. Согласно критерию устойчивости Гурвица коэффициенты уравнения (10) являются положительными

$$\frac{cF}{J} \cdot k_\omega > 0; \quad \frac{cF}{J} \cdot k_\omega \cdot \alpha_0 > 0.$$

Важной задачей является определение свойств контура скорости при конечных значениях коэффициента усиления регулятора. Согласно передаточной функции разомкнутого контура скорости, полученной на основании (10)

$$W(p) = \frac{cF \cdot k_\omega \cdot \alpha_0 / J}{p \cdot (p + cF \cdot k_\omega / J)}, \quad (11)$$

контур скорости обладает заданным астатизмом первого порядка, а также добротностью по скорости равной заданной (3)

$$D_\omega = D_\omega^* = \alpha_0. \quad (12)$$

Это обеспечивает степень приближения реально-го переходного процесса скорости к желаемому процессу, заданному (2), при умеренных коэффициентах усиления регулятора скорости k_ω .

Оценка влияния неучтенной инерционности контура тока с малой постоянной времени T_1 на динамические свойства контура скорости осуществляется с помощью характеристического уравнения замкнутой системы, полученного аналогично (10)

$$T_1 \cdot T_0 \cdot p^3 + T_0 \cdot p^2 + k_\omega \cdot p + k_\omega \cdot \alpha_0 = 0, \quad (13)$$

где $T_0 = J/cF$ – постоянная времени объекта управления.

Для устойчивости контура скорости согласно (13) требуется выполнение условия $\alpha_0 < (1/T_1)$. Таким образом, инерционность контура тока ограничивает желаемое быстродействие контура скорости.

Исследование системы управления ВЭП. Исследования проведены путем моделирования в программном комплексе MATLAB/Simulink. Для оценки эффективности работы системы управления скоростью вентиляльного электропривода механизма подачи проволоки проведен сравнительный анализ результатов моделирования предложенной системы с регулятором (9) и САУ с П-регулятором скорости. Значение коэффициента усиления П-регулятора $K_g = 8,75$ полу-

чено при настройке контура скорости на аperiodический процесс. При моделировании двухконтурной САУ приняты следующие значения параметров структурной схемы: $T_f = 0,5$ мс; $R_f = 0,9$ Ом; $cF = 1$ В·с; $J = 0,001$ кг·м²; $K_1 = 1,94$; $K_2 = 0,25$. Контур тока, каждой из рассматриваемых систем, содержит РРТ с зоной нечувствительности 0,5 В. Величина напряжения на выходе силового преобразователя составляет $U = 24$ В.

Результаты моделирования контура тока при синусоидальном сигнале задания с частотой 100 Гц для принятых настроек представлены на рис. 4. Анализ результатов моделирования контура тока для сигнала задания I^* показывает удовлетворительную динамику его обработки.

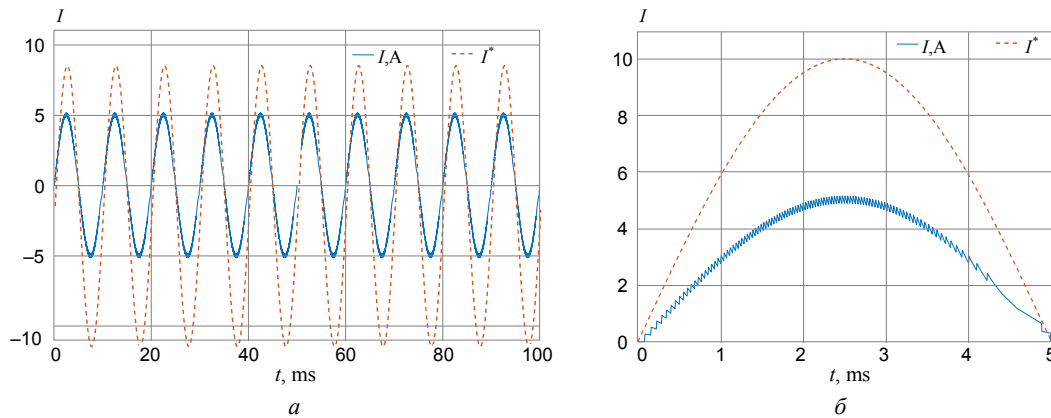


Рис. 4. Результаты моделирования переходных процессов контура тока системы

Результаты моделирования переходных процессов обеих систем при скачкообразном сигнале задания представлены на рис. 5. Кривые ω_1 соответствуют системе с регулятором (9), а ω_2 – системе с П-регулятором. Сравнительный анализ графиков переходных процессов скорости систем (рис. 5,а при $\alpha_0 = 500$; рис. 5,б при $\alpha_0 = 1700$) подтверждает зависимость времени переходного процесса от величины параметра α_0 . Увели-

чение этого параметра при постоянном значении $k_\omega = 100$ сокращает время переходного процесса. По результатам моделирования для аperiodической настройки контура скорости определено максимальное значение параметра $\alpha_0 = 1700$. С увеличением значения этого параметра при скачке задания скорости в системе появляется перерегулирование.

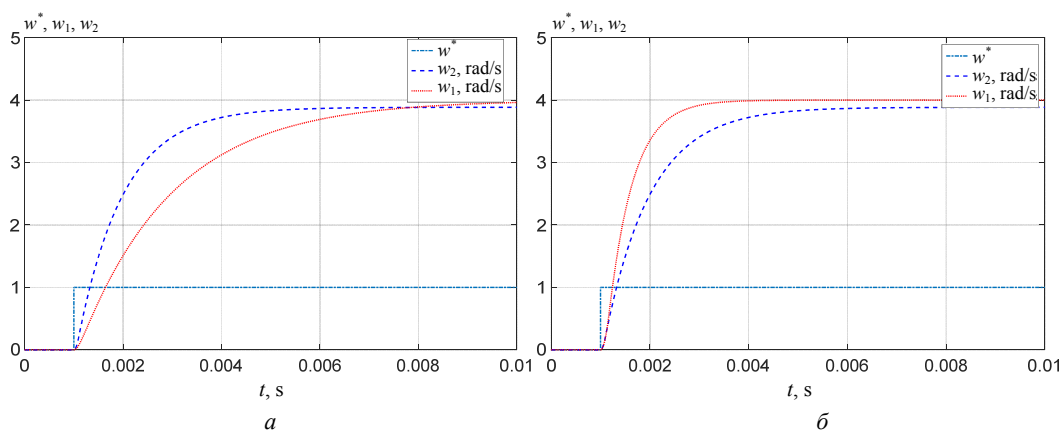


Рис. 5. Результаты моделирования переходных процессов систем при скачке сигнала задания

Результаты моделирования переходных процессов систем при формировании сигнала задания в виде прямоугольных импульсов длительностью $t_{imp} = 5$ мс с частотой следования импульсов 100 Гц представлены на рис. 6. Формирование сигнала задания скорости ω^* в виде прямоугольных импульсов для условий моделирования, представленных на рис. 6,а, обеспечивает

перемещение L_1 проволоки (рис. 6,б) на 3 мм при аperiodической настройке контура с использованием КОЗД. В системе с П-регулятором контура скорости перемещение L_2 проволоки (рис. 6,б) составило всего 1,8 мм. Результаты моделирования показали, что при набросе нагрузки от 0 до 5 Нм для импульса длительностью 4 мс и частоты следования импульсов 100 Гц

перемещение L_1 проволоки за импульс изменялось от 2,64 мм до 2,35 мм. Перемещение L_2 проволоки в САУ с П-регулятором скорости для тех же условий изменения нагрузки составило менее 1,4 мм. При увеличении времени импульса в системе с П-регулятором скорости до 8 мс перемещение L_2 про-

волоки за импульс изменялось от 2,2 мм до 2,8 мм при уменьшении нагрузки в диапазоне от 5 Нм до нуля. Уменьшение величины момента инерции J в 2 раза позволяет при нагрузке в 5 Нм и длительности импульса 5 мс обеспечить перемещение L_1 проволоки на 2,4 мм.

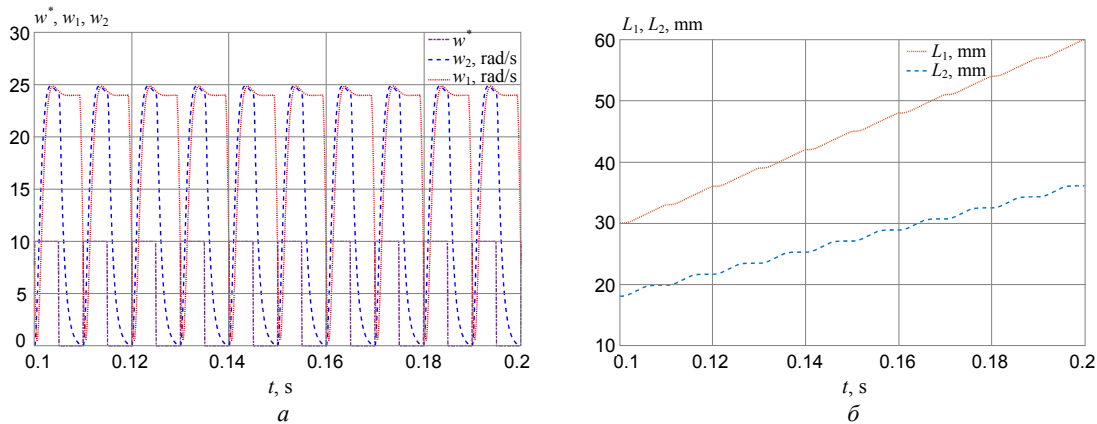


Рис. 6. Результаты моделирования переходных процессов систем при сигнале задания в виде прямоугольных импульсов

Выводы.

1. Результаты исследования системы с предложенным регулятором скорости показали, что механизм подачи электродной проволоки обеспечивает требуемое линейное перемещение при сигнале задания в виде прямоугольных импульсов при частоте следования 100 Гц. Рекомендуемая длительность импульса задания скорости не должна превышать 5 мс.

2. Исследования системы также показали, что при определенных соотношениях параметров П-регулятор скорости может обеспечить обработку требуемых перемещений при частоте следования импульсов подачи 100 Гц, но с худшими показателями качества. Учитывая возможный диапазон изменения параметров системы окончательный выбор типа регулятора и способа его настройки должен определяться технологическими требованиями к показателям качества САУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б.Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций. *Автоматическая сварка*, 2003, № 10-11 (607), С. 7-13.
2. Маковецкая, О. К. Основные тенденции на рынке сварочной техники в 2008-2011 гг. и прогноз его развития (Обзор). *Автоматическая сварка*, 2012, № 6, С. 44-50.
3. Pal K., Pal S.K. Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2010, vol. 20, no. 6, pp. 918-931. doi: 10.1007/s11665-010-9717-y.
4. Harris I. Transfer of heat and mass to the base metal in gas metal arc welding. *Welding, Brazing, and Soldering*, 2011, vol. 6, pp. 82-88.
5. Патон Б.Е., Лебедев В.А., Пичак В.Г., Полосков С.И., Щавелев Л.Н. Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки. *Сварочное производство*, 2002, № 2, С. 24-31.
6. Крампит Н.Ю. Способы управления плавлением и переносом электродного металла (обзор). *Сварочное производство*, 2009, № 3, С. 31-35.
7. Патон Б.Е., Лебедев В.А., Жук Г.В., Драган С.В. Механические импульсные и вибрационные воздействия в оборудовании и технологиях механизированной сварки и наплавки. 16 Міжнародна науково-технічна конференція «Вібрації в техніці та технологіях». Збірник тез доповідей. Він-

ниця. 26-27 жовтня 2017 року. С. 10-16.

8. Lebedev V., Reisgen U., Lendiel I. Study of technological opportunities of GMA welding and surfacing with pulse electrode wire feed. *Welding in the World*, 2016, vol. 60, no. 3, pp. 525-533. doi: 10.1007/s40194-016-0321-0.
9. Лебедев В.А., Рышша В.В., Радимов И.Н. Современные вентильные электроприводы в системах механизированного сварочного оборудования. *Электромашинобудування та електрообладнання*. 2009, № 74, С. 22-24.
10. Лебедев В.А., Драган С.В., Жук Г.В., Новиков С.В., Симутенков И.В. Применение импульсных воздействий при дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов (Обзор). *Автоматическая сварка*, 2019, № 8, С. 30-40.
11. Gill J.S., Kalyan Reddy T. Effect of weld pool vibration on fatigue strength and tensile strength of stainless-steel butt-welded joints by GTAW process. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2018, vol. II WCE 2018, July 4-6, 2018, London, U.K.
12. Kuznetsov B.I., Nikitina T.B., Bovdui I.V., Kobilyanskiy B.B. Improving of electromechanical stabilization systems accuracy. *Electrical engineering & electromechanics*, 2019, no. 2, pp. 21-27. doi: 10.20998/2074-272X.2019.2.04.
13. Kuznetsov B.I., Nikitina T.B., Kolomiets V.V., Bovdui I.V. Improving of electromechanical servo systems accuracy. *Electrical engineering & electromechanics*, 2018, no. 6, pp. 33-37. doi: 10.20998/2074-272X.2018.6.04.
14. Ostroverkhov M., Pyzhov V. Korol S. Control of the electric drive under conditions of parametric uncertainty and coordinates' interrelation. *2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, 2017, pp. 64-67. doi: 10.1109/MEES.2017.8248953.
15. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Академия, 2006. – 304 с.
16. Лебедев В.А., Гулый М.В. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2014, № 6, С.47-51.

REFERENCES

1. Paton B.E. Modern directions of research and development in the field of welding and structural strength. *Automatic welding*, 2003, no. 10, 11 (607), pp. 7-13. (Rus).
2. Makovetskaya O.K. Main trends in the welding equipment market in 2008-2011 and forecast of its development (Review). *Automatic welding*, 2012, no. 6, pp. 44-50. (Rus)
3. Pal K., Pal S.K. Effect of Pulse Parameters on Weld Quality in Pulsed Gas Metal Arc Welding: A Review. *Journal of Mate-*

rials Engineering and Performance, 2010, vol. 20, no. 6, pp. 918-931. doi: 10.1007/s11665-010-9717-y.

4. Harris I. Transfer of heat and mass to the base metal in gas metal arc welding. *Welding, Brazing, and Soldering*, 2011, vol. 6, pp. 82-88.

5. Paton B.E., Lebedev V.A., Pichak V.H., Poloskov S.I., Shchhavelev L.N. Analysis of technical and technological possibilities of the pulsed feed of electrode wire in arc welding and surfacing processes. *Welding International*, 2002, vol. 16, no. 7, pp. 575-581. doi: 10.1080/09507110209549580.

6. Krampit N.Y. Methods of controlling melting and transfer of electrode metal (review). *Welding International*, 2010, vol. 24, no. 10, pp. 808-812. doi: 10.1080/09507116.2010.486194.

7. Paton B.E., Lebedev V.A., Zhuk G.V., Dragan S.V. Mechanical impulse and vibration effects in equipment and technologies of mechanized welding and surfacing. *16th International Science and Technology Conference «Vibrations in technology and technology»*. Collection of theses. Vinnytsia, Ukraine, 26-27 October 2017, pp. 10-16. (Rus).

8. Lebedev V., Reisgen U., Lendiel I. Study of technological opportunities of GMA welding and surfacing with pulse electrode wire feed. *Welding in the World*, 2016, vol. 60, no. 3, pp. 525-533. doi: 10.1007/s40194-016-0321-0.

9. Lebedev V.A., Rymsha V.V., Radimov I.N. Modern valve electric drives in systems of mechanized welding equipment. *Electrical machine-building and electrical equipment*, 2009, no. 74, pp. 22-24. (Rus).

10. Lebedev V.A., Dragan S.V., Zhuk G.V., Novikov S.V., Simutenkov I.V. Application of pulsed impact in consumable electrode gas-shielded arc welding (Review). *The Paton Welding Journal*, 2019, no. 8, pp. 18-26. doi: 10.15407/tpwj2019.08.04.

11. Gill J.S., Kalyan Reddy T. Effect of weld pool vibration on fatigue strength and tensile strength of stainless-steel butt-welded joints by GTAW process. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2018, vol. II WCE 2018, July 4-6, 2018, London, U.K.

12. Kuznetsov B.I., Nikitina T.B., Bovdii I.V., Kobilyanskiy B.B. Improving of electromechanical stabilization systems accuracy. *Electrical engineering & electromechanics*, 2019, no. 2, pp. 21-27. doi: 10.20998/2074-272X.2019.2.04.

13. Kuznetsov B.I., Nikitina T.B., Kolomiets V.V., Bovdii I.V. Improving of electromechanical servo systems accuracy. *Electrical engineering & electromechanics*, 2018, no. 6, pp. 33-37. doi: 10.20998/2074-272X.2018.6.04.

14. Ostroverkhov M., Pyzhov V., Korol S. Control of the electric drive under conditions of parametric uncertainty and coordinates' interrelation. *2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, Kremenchuk, 2017, pp. 64-67. doi: 10.1109/MEES.2017.8248953.

15. Terekhov V.M., Osipov O.I. *Sistemy upravleniia elektroprivodov. Uchebnik dlia studentov vysshikh uchebnykh zavedenii* [Control systems of electric drives. Textbook for students of higher educational institutions]. Moscow, Akademiia Publ., 2006. 304 p. (Rus).

16. Lebedev V.A., Guly M.V. The high-speed valve electric drive for the equipment of the mechanized arc welding. *Mechatronics, automation, control*, 2014, no. 6, pp. 47-51. (Rus).

Поступила (Received) 09.09.2020

Принята (Accepted) 16.10.2020

Опубликована (Published) 24.12.2020

Лебедев Владимир Александрович¹, д.т.н., проф.,

Жук Геннадий Владимирович¹,

Островерхов Николай Яковлевич², д.т.н., проф.,

Халимовский Алексей Модестович², к.т.н., доц.,

¹ Государственное предприятие

«Опытное конструкторско-технологическое бюро

Института электросварки им. Е.О.Патона

Национальной академии наук Украины»,

03150, Киев, ул. Боженко, 7,

e-mail: valpaton@ukr.net, oktbt-paton@i.ua

² Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт

имени Игоря Сикорского»,

03056, Киев, пр. Перемоги, 37,

e-mail: n.ostroverkhov@hotmail.com, o.khalimovskyy@ukr.net

V.A. Lebedev¹, G.V. Zhuk¹, N.J. Ostroverkhov²,

A.M. Khalimovskyy²

¹ SF «Experimental Design-Technological Office

of the E.O. Paton Electric Welding Institute

of the National Academy of Sciences of Ukraine»,

7, Bogenko Str., Kiev, 03150, Ukraine.

² National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv

Polytechnic Institute»,

37, Prospect Peremohy, Kyiv-56, 03056, Ukraine.

Control of valve electric drive coordinates of automated welding equipment feed mechanisms.

Goal. Finding ways to improve the quality of operation of the electrode wire feeder in terms of increasing the frequency of undistorted pulse feed with controlled characteristics, in particular its speed, as well as developing methods to simplify the adjustment of regulators of fast-acting electric drive to improve the results of the arc welding and surfacing process. **Methodology.** In the work, methods of analysis of existing technical solutions were used to increase the speed of operation of electric drives for a specific purpose with the choice of the most rational solution based on the use of the method of synthesis of a control system based on the concept of inverse problems of dynamics with subsequent computer simulation, confirming the adequacy of the applied method of synthesis of high-speed systems. **Results.** The authors considered the possibilities of increasing the speed of control systems for gearless computerized electric drives in a system with modern designs of valve electric drives for electrode wire feeding systems. A mathematical model of a rectifier motor has been developed with some assumptions that significantly influenced the simulation results. The new possibilities are based on the use of an original synthesis method based on the use of the concept of the inverse problem of dynamics with the subsequent study of the operation of the automatic control system for pulse wire feed, which was performed with aperiodic adjustment of the velocity contour by different methods. This approach made it possible to obtain the necessary laws of electric drive control without the traditional solution of the optimization problem. The developed control system for the electrode wire feed with pulsed motion algorithms provided the required linear movement of the wire at a pulse repetition rate of 100 Hz. The carried out computer simulation of the new control system confirmed the results of the study. It was found that an increase in the pulse time duration over 50 % of the pulse repetition period for given feed frequencies leads to an increase in the wire movement in the pulse, as well as to a decrease in the worked out frequency of the wire linear displacement feed. It was not possible to provide the required wire movement in the impulse feed mode for aperiodic adjustment of the speed loop with a P-controller for the same system parameters. **Originality.** The development was carried out for a specific application in the electrode wire feed systems of mechanized and automatic equipment for consumable electrode arc welding with obtaining certain algorithms of pulse motion. To effectively solve the complex problem of increasing the frequency of feed pulses with the provision of a displacement step, an original technique of the concept of inverse dynamic problems with confirmation of the result by mathematical modeling by practical results was used. **Practical significance.** The use of standard settings of the valve electric drive of mechanized and automatic welding equipment provides the frequency of undistorted electrode wire feed in the pulse mode of the feed mechanisms up to 50 Hz. New possibilities of settings made it possible to increase the frequency of wire feed, which makes it possible to raise the quality indicators of welded products - the formation of a welded joint, a decrease in electrode metal losses, an increase in the mechanical properties of a welded joint. References 16, figures 6.

Key words: valve electric drive, automatic control system, adjustment of regulators, pulse wire feed mechanism, welding equipment.