

УДК 669.045

А.Я. Жук, зав. кафедрой, к.т.н., профессор

Р.Н. Пятак, аспирант

Май Фьюк Туан, аспирант

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА ДСП НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ К АВТОКОЛЕБАНИЯМ

Запорожская государственная инженерная академия

Наведено результати теоретичного дослідження впливу головних конструктивних і силових параметрів гідравлічного механізму переміщення електродів дугових сталеплавильних печей на його стійкість до автоколивань.

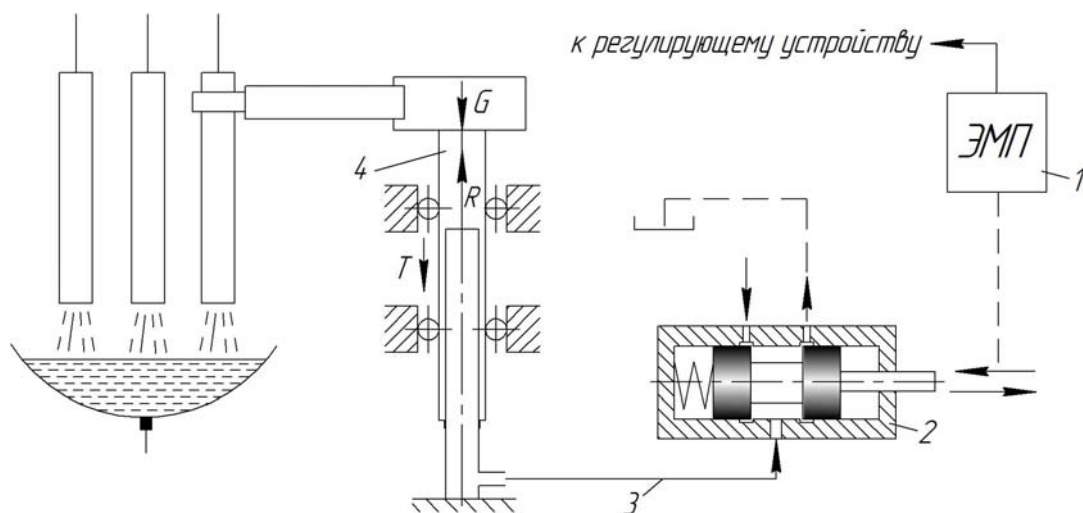
Приведены результаты теоретического исследования влияния основных конструктивных и силовых параметров гидравлического механизма перемещения электродов дуговых сталеплавильных печей на его стойкость к автоколебаниям.

Введение. Среди важных показателей качества работы механизмов перемещения электродов (МПЭ) дуговых сталеплавильных печей (ДСП), наряду с точностью, чувствительностью и быстродействием, является устойчивость к автоколебаниям. Возникновение автоколебаний оказывает отрицательное влияние на качество управления электрическим режимом печи, а, следовательно, на ее производительность и эффективность использования электроэнергии. Поэтому при проектировании МПЭ крайне важно знать их параметры, позволяющие избежать возникновения автоколебаний.

Анализ достижений. В предыдущих работах авторов [1-4] представлены результаты исследований, связанных с выбором наиболее эффективной конструкции следящего золотника регулятора мощности ДСП с учетом вышеуказанных показателей качества работы МПЭ. Установлено, что наиболее приемлемой конструкцией золотника является его одно- или двухкаскадное выполнение с положительным перекрытием щелей.

Постановка задачи. Задачей настоящих исследований является изучение влияния конструктивных и силовых параметров МПЭ печей ДСП на их устойчивость к автоколебаниям.

Основная часть исследований. Основным инструментом для исследований приняли метод варьирования [5], для чего были разработаны алгоритмы и подпрограммы вычислений на ЭВМ. Движение МПЭ с гидроприводом и однокаскадным следящим золотником (рис. 1) может быть представлено следующими системами уравнений:



1 – электромагнитный преобразователь; 2 - однокаскадный следящий золотник;
3 - трубопровод; 4 - гидроцилиндр.

Рисунок 1 – Схема МПЭ с однокаскадным золотником

– при перемещении скалки золотника вправо (движение электрода вниз)

$$Q = C_{v20} \cdot \delta^n \cdot \sqrt{\frac{R}{F \cdot p_2 m}} ; \quad (1)$$

$$p = \frac{R}{F} + B_1 \cdot \frac{d^2 y}{d^2 t} ; \quad (2)$$

$$Q = F \frac{dy}{dt} + B_2 \cdot \frac{dR}{dt} ; \quad (3)$$

$$y = z ; \quad (4)$$

$$R = m \cdot \frac{d^2 z}{d^2 t} + T \cdot \text{sig}\left(\frac{dz}{dt}\right) + m \cdot g ; \quad (5)$$

$$\chi(\delta^n) = v(z) , \quad (6)$$

– при перемещении скалки золотника влево (движение электрода вверх)

$$Q = C_{v2} \cdot \delta^n \cdot \sqrt{1 - \frac{P}{p_2 n}} ; \quad (7)$$

$$p = \frac{R}{F} + B_1 \cdot \frac{d^2 y}{d^2 t} ; \quad (8)$$

$$Q = F \frac{dy}{dt} + B_2 \cdot \frac{dR}{dt} ; \quad (9)$$

$$y = z ; \quad (10)$$

$$R = m \cdot \frac{d^2 z}{d^2 t} + T \cdot \text{sig}\left(\frac{dz}{dt}\right) + m \cdot g ; \quad (11)$$

$$\chi(\delta^n) = v(z) \quad (12)$$

где $C_{v20} = \pi \cdot d_2 \cdot \mu \cdot (2 \cdot g \cdot p_{2m} \cdot \gamma)^{0.5}$; $C_{v2} = \pi \cdot d_2 \cdot \mu \cdot (2 \cdot g \cdot p_{2n} \cdot \gamma)^{0.5}$, d_2 – диаметр скалки золотника; μ – коэффициент расхода рабочей жидкости; g – ускорение силы тяжести; p_{2m} – максимальное давление в цилиндре; p_{2n} – давление, подводимое к золотнику; γ – плотность рабочей жидкости; δ^n , δ^l – эффективное перемещение скалки золотника (соответственно вправо и влево); R – нагрузка на рабочий цилиндр; F – площадь цилиндра; p – фактическое давление в цилиндре; $B_1 = \gamma \cdot l_{mp} \cdot F / f$; l_{mp} – длина трубопровода; f – площадь трубопровода; $B_2 = (k_u + k_{mp}) / E_u$; $k_u = H \cdot F / E_u$;

$E_u = 1 / \left[\frac{1}{E_{жс}} + \frac{1}{E_m} \cdot \frac{D}{\delta_u} \right]$; $k_{\delta\delta} = l_{mp} \cdot f / E_{mp}$; H – ход цилиндра; E_u , E_{mp} – суммарный модуль упругости цилиндра и трубопровода; $E_{mp} = 1 / \left[\frac{1}{E_{жс}} + \frac{1}{E_m} \cdot \frac{d_{mp}}{\delta_{mp}} \right]$, $E_{жс}$ – модуль

упругости рабочей жидкости; E_m – модуль упругости металла стенок цилиндра и трубопровода; D – диаметр цилиндра; d_{mp} – диаметр трубопровода; δ_u , δ_{mp} – толщина стенок цилиндра и трубопровода; G , m – вес и масса подвижных частей; y , z – перемещение электрода и цилиндра соответственно; T – сила сухого трения.

Исследование влияния параметров механизма перемещения электродов на устойчивость его к автоколебаниям представляет собой процесс определения зависимости граничного подведенного давления $p_{зр}$ (принимается указанное давление равным давлению p_{2n} , которое подводится к золотнику) от гидро- и электромеханических параметров (диаметра и хода цилиндра, диаметра скалки золотника, длины трубопровода, массы подвижных частей, коэффициентов преобразования), отражающих влияние моментов инерции золотников).

Методика решения систем уравнений (1)-(6) и (7)-(12) приведена в работе [2]. При решении данных уравнений предполагается, что перемещение электрода происходит с автоколебаниями, близкими к гармоническим, с амплитудой A_n и частотой Ω_n при движении электрода вверх и с амплитудой A_l и частотой Ω_l при движении электрода вниз. Решение уравнений, преобразованных на основе гармонической линеаризации нелинейностей, производили на ЭВМ при помощи разработанных программ. Результаты исследований для аналоговой САУ и цифровой САУ электрическим режимом ДСП приведены на рис. 2 и 3.

Исследование влияния диаметра цилиндра на устойчивость МПЭ к автоколебаниям представлено на рис. 2,а. Из графиков видно:

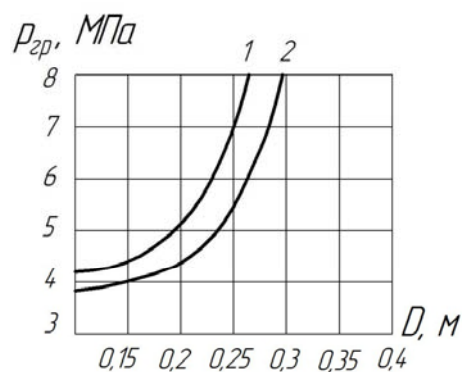
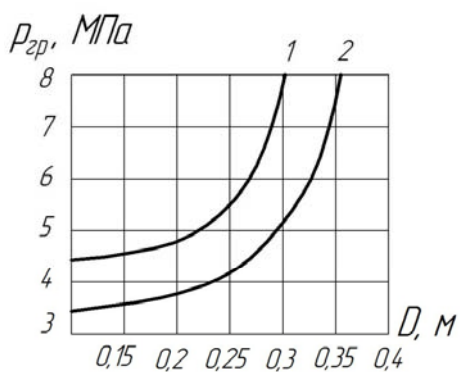
- увеличение диаметра гидроцилиндра способствует повышению устойчивости МПЭ;

- граничное давление, подведенное к золотнику, изменяется пропорционально величине $D^{2/3}$, но в зоне малых значений D данная зависимость нарушается, и кривые резко меняют свое направление;

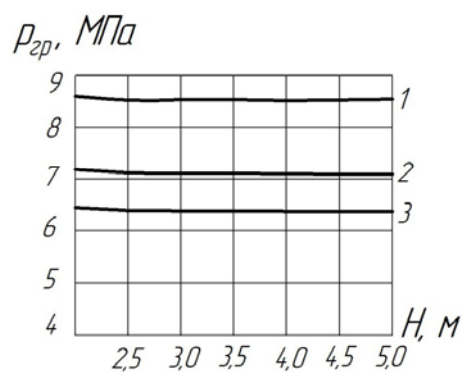
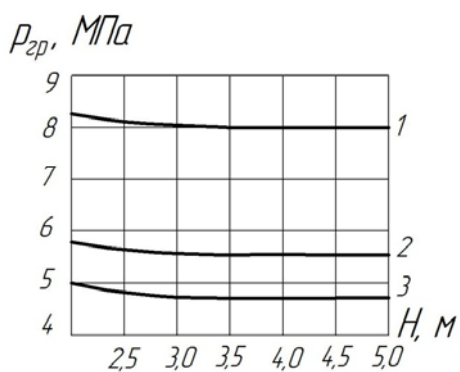
- МПЭ с цифровой САУ имеет более высокую устойчивость по сравнению с аналоговой САУ. Отсюда следует практический вывод, что при использовании цифровой САУ можно применять цилиндры меньшего диаметра и, следовательно, масло-напорные станции меньшей производительности.

Для аналоговой САУ

Для цифровой САУ

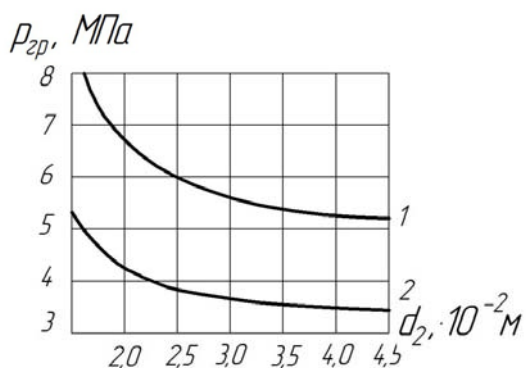
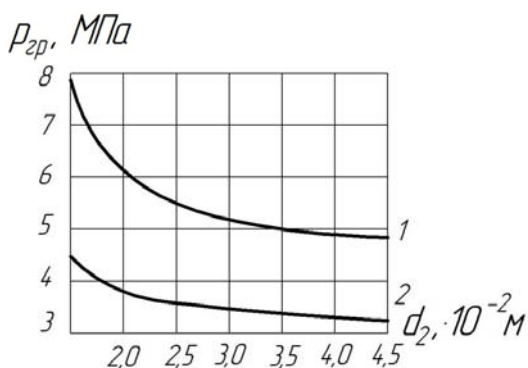


а



б

1 - $l_{mp} = 30$ м; 2 - $l_{mp} = 20$ м; 3 - $l_{mp} = 10$ м



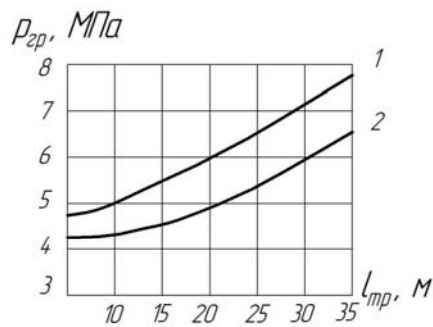
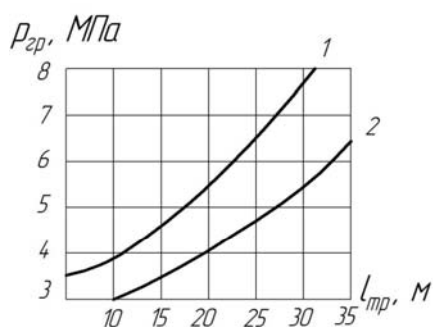
в

1 - $l_{mp} = 20$ м; 2 - $l_{mp} = 10$ м

Рисунок 2 – Графики зависимости граничного подведенного давления p_{2p} от диаметра цилиндра (а) хода цилиндра (б), диаметра скалки следящего золотника (в)

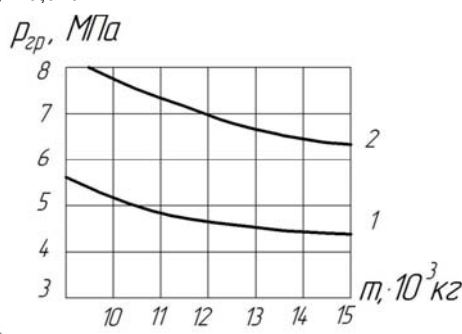
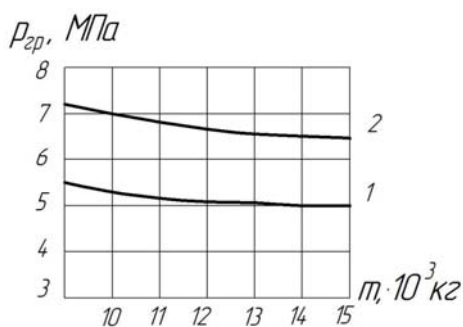
Для аналоговой САУ

Для цифровой САУ



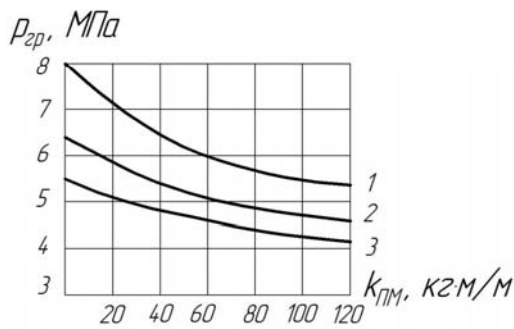
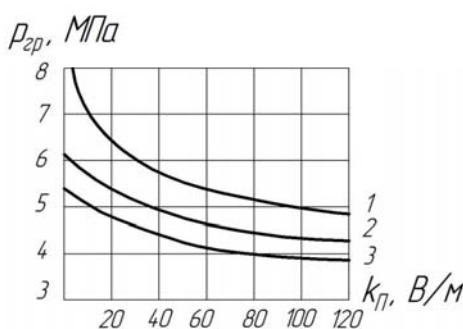
а

1 – $d_{mn} = 0,032$ м; 2 – $d_{mn} = 0,040$ м



б

1 – $D = 0,30$ м; 2 – $D = 0,25$ м



в

1 – $J_p = 0,010$ кг·м²; 2 – $J_p = 0,015$ кг·м²; 3 – $J_p = 0,020$ кг·м²

Рисунок 3 – Графики зависимости граничного подведенного давления p_{cr} от длины трубопровода (а), массы перемещаемых частей (б), коэффициентов преобразования (в)

Изучение влияния хода цилиндра на устойчивость МПЭ (рис. 2,б) показывает:

– учет инерции жидкости и суммарного модуля упругости стенок цилиндра, а также находящегося в нем масла, вызывает различный эффект в зависимости от изменения величины параметра B_2 , входящего в уравнения (3) и (9);

– увеличение объема жидкости в гидроцилиндре (с увеличением хода цилиндра) способствует снижению устойчивости за счет увеличения инерции движущегося потока жидкости и уменьшения упругости столба жидкости. С другой стороны, увеличение хода цилиндра повышает трение между движущейся жидкостью и стенками цилиндра, что в свою очередь способствует устойчивости МПЭ. Как видно из графиков, сложение этих факторов влияния приводит к незначительному влиянию изменения величины хода гидроцилиндра на устойчивость МПЭ.

При рассмотрении влияния диаметра скалки золотника на устойчивость МПЭ (рис. 2,в) видно:

– увеличение диаметра скалки управляющего золотника снижает пределы устойчивости МПЭ;

– граничное подведенное давление p_{cp} изменяется обратно пропорционально диаметру скалки в степени $2/3$ и лишь в области больших значений d_2 кривые практически превращаются в прямые линии.

– МПЭ цифровой САУ имеет более высокую устойчивость.

Влияние длины и диаметра маслопроводов на устойчивость МПЭ (рис. 3,а) показывает:

– увеличение длины или уменьшения диаметра маслопровода приводит к повышению устойчивости МПЭ, так как снижает инерцию потока жидкости (за счет увеличения трения между жидкостью и стенками);

– МПЭ с цифровой САУ имеет более высокую устойчивость, чем МПЭ с аналоговой САУ.

Характер кривых влияния массы подвижных частей на устойчивость (рис. 3,б) указывает:

– увеличение массы подвижных частей снижает устойчивость МПЭ и более существенное влияние проявляется в цифровой САУ. К такому выводу приходят и в работах [6,7].

При уменьшении коэффициентов преобразования k_n (для аналоговой САУ) и k_{nm} (для цифровой САУ) наблюдается повышение устойчивости МПЭ (рис. 3,в). Граничное подведенное давление p_{cp} изменяется пропорционально коэффициентам преобразования в степени $1/3$, а с увеличением инерции ротора двигателя устойчивость МПЭ снижается.

На основании полученных результатов можно рекомендовать допустимые значения параметров МПЭ, представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Допустимые значения параметров МПЭ

| Параметры | Единицы измерений | Аналоговая САУ | Цифровая САУ |
|--------------------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Диаметр скалки золотника d_2 | м | 0,024...0,032 | 0,024...0,032 |
| Диаметр маслопровода d_{mp} | м | 0,032...0,040 | 0,032...0,040 |
| Длина маслопровода l_{mp} | м | 10...30 | 10...30 |
| Коэффициент преобразования: | | | |
| – для САУ k_n | В/м | 20...200 | – |
| – для САУ k_{nm} | кг·м/м | – | 500...1000 |

Выводы. Полученные результаты теоретических исследований могут найти практическое применение для оптимизации конструктивных элементов при разработке и проектировании новых механизмов перемещения электродов дуговых сталеплавильных электропечей, оснащенных как аналоговыми, так и цифровыми автоматизированными системами управления плавильным процессом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Май Фыок Туан. Исследование влияния типа следящего золотника на статические характеристики гидропривода механизма электродов дуговой электропечи / Май Фыок Туан, А. Я. Жук, Н. В. Коваль // *Металлургия: научные труды ЗГИА.* – Запорожье: РИО ЗГИА, 2002. – Вып. 6. – С. 114-120.
2. Май Фыок Туан. Исследование влияния характера перекрытия целей следящего золотника на устойчивость гидроприводов механизма перемещения электродов дуговой электропечи / Май Фыок Туан, А.Я. Жук, Н.В. Коваль // *Металлургия: научные труды ЗГИА.* – Запорожье: РИО ЗГИА, 2003. – Вып. 7. – С. 93-100.
3. Май Фыок Туан. Исследование влияния характера перекрытия щелей следящего золотника на быстрдействие гидроприводов механизма перемещения электродов дуговой электропечи /

Май Фыок Туан// *Металлургия: научные труды ЗГИА.* – Запорожье: РИО ЗГИА, 2003. – Вып. 8. – С. 90-96.

4. *Жук А. Я.* Исследование и выбор наиболее эффективной схемы механизма перемещения электрода дуговой сталеплавильной печи на базе гидропривода / А. Я. Жук, Май Фыок Туан, А. А. Власов // *Металургия: наукові праці ЗДІА.* – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2007. – Вип. 16. – С. 85-89.
5. *Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование: монография / А. Я. Жук, Г. П. Малышев, Н. К. Желябина, О. М. Клевцов.* – Запорожье: РИО ЗГИА, 2008. – 500 с.
6. *Гамынин Н. С.* Гидравлический следящий привод / Н. С. Гамынин, В. А. Лещенко, Б. Л. Коробочкин. - М.: Машиностроение, 1968. – 564 с.
7. *Сапко А. И.* Исполнительные механизмы регуляторов мощности дуговых электропечей / А. И. Сапко. – М.: Энергия, 1980. – 134 с.

Стаття надійшла до редакції 24.12.2010 р.

Рецензент, проф. Г.П. Малишев