

УДК 621.746

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА
ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ БАЛОК
ХОЛОДИЛЬНИКА МНЛЗ**

Шамрай Ю.А., магистрант 2 курса,

joukserin@gmail.com

Ошовская Е.В., к.т.н., доцент,

evo2008@bk.ru

Сидоров В.А., д.т.н., профессор

sidorov_va@ukr.net

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
кафедра механического оборудования заводов черной металлургии
им. проф. Седуша В.Я.

Представлено математическое описание для расчета траектории движения подвижных балок холодильника МНЛЗ. Выполнена проверка адекватности на физической модели. Представлены результаты расчета траекторий.

Ключевые слова: холодильник МНЛЗ, подвижные балки, гидроцилиндр, рычажный механизм, траектория.

A mathematical description for the trajectory calculating of the CCM walking beam cooler is presented. The adequacy check is performed on the physical model. The results of trajectories calculating are presented.

Keywords: CCM cooler, moving beams, hydraulic cylinder, lever mechanism, trajectory.

Для перемещения и охлаждения заготовки, получаемой на МНЛЗ, используются холодильники с шагающими балками и гидравлическим приводом (рис. 1).

Одним из основных требований к данной машине является синхронная работа гидроцилиндров вертикального перемещения, участвующих в передвижении одной балки, так как это влияет на перемещение заготовок и на распределение нагрузок, действующих на крепление гидроцилиндра горизонтального перемещения балки. Контролировать функционирование гидроцилиндров можно по давлению в поршневой и штоковой полостях, а также по параметрам вибрации. Авторами предлагается дополнить указанные параметры отслеживанием траекторий движения контрольных точек на подвижных балках холодильника. Для распознавания технического состояния гидропривода холодильника и выявления отклонений в работе необходимо иметь «эталонные» траектории

движений контрольных точек подвижных балок, рассчитать которые возможно аналитически.

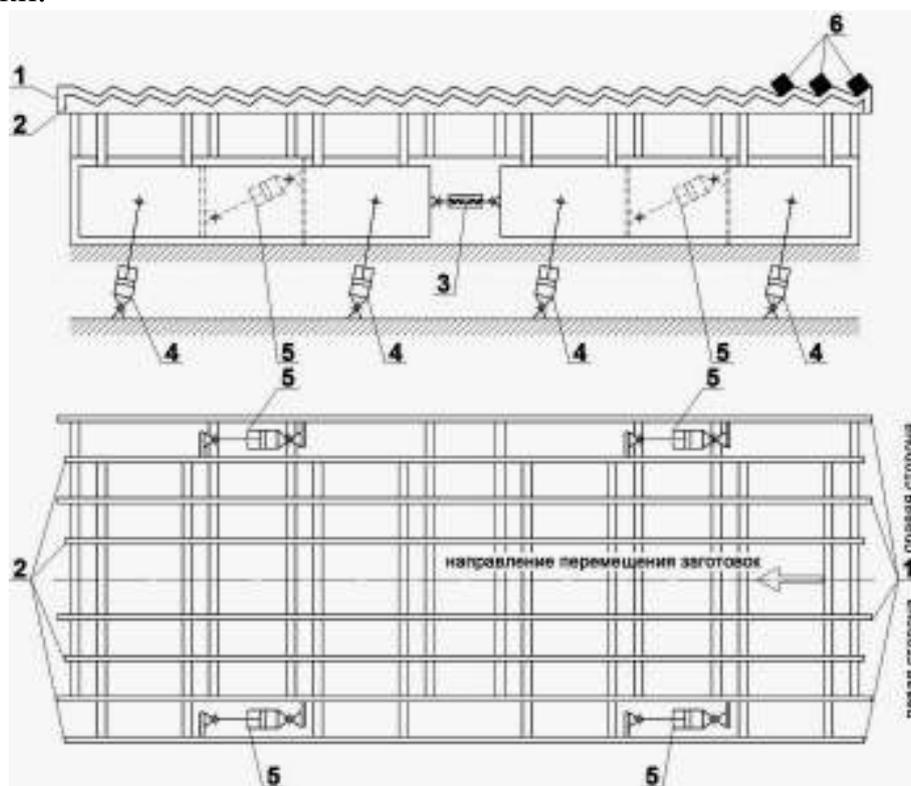


Рисунок 1 – Принципиальная схема холодильника МНЛЗ:

1 – неподвижные балки; 2 – подвижные балки; 3 – фаркопф; 4 – гидроцилиндры вертикального перемещения подвижных балок; 5 – гидроцилиндры горизонтального перемещения подвижных балок; 6 – заготовки

В работе [1] представлена математическая модель кинетических параметров холодильника МНЛЗ, позволяющая рассчитывать положение шарниров крепления гидроцилиндров, их линейные скорости и ускорения. При этом в конструкции холодильника была выделена структурная группа (рис. 2), представляющая собой рычажный механизм с параллелограммной системой АВЕФ.

В данной структурной группе гидроцилиндры вертикального перемещения балок представлены звеньями АВ и FE, а гидроцилиндр горизонтального перемещения – звеном CD. Точки В, С и Е соответствуют центрам осей крепления цилиндров на подвижной балке. При синхронной работе гидроцилиндров вертикального перемещения длины звеньев АВ и FE равны, т.е. $l_{AB}=l_{FE}$. Углы φ_i ($i=1...3$) характеризует положение звеньев механизма в произвольный момент времени. Определение угла φ_1 в зависимости от хода гидроцилиндра вертикального перемещения сводится к нахождению корней уравнения 4-й степени с последующим выбором одного из значений, что является наиболее трудоемкой процедурой в описанной математической модели [1] и не всегда приводит к однозначному решению.

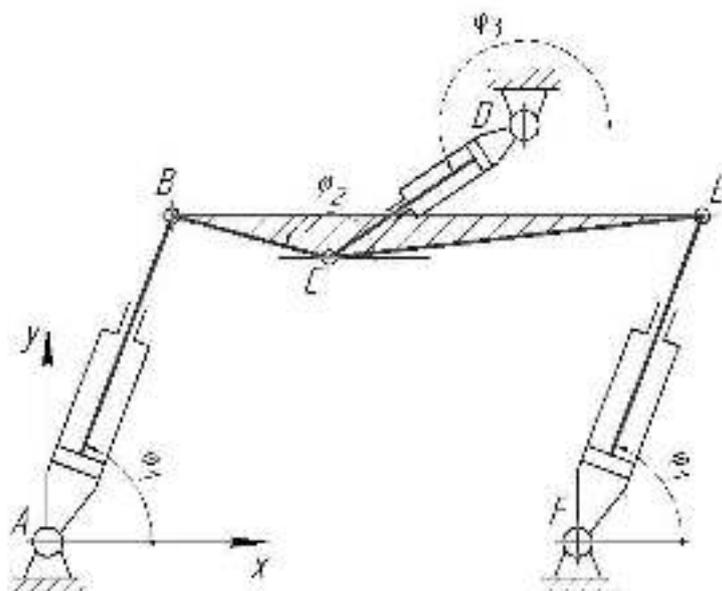


Рисунок 2 – Расчетная схема структурной группы холодильника

В данной статье представлена усовершенствованная математическая модель для определения углов положения звеньев и траекторий движения шарниров рычажного механизма, выделенного в структуре холодильника МНЛЗ.

При разработке модели рассматривался контур ABCD, представляющий собой часть структурной группы (рис. 2). Анализ цикла движения холодильника, который включает 4 этапа:

- 1) подъем подвижных балок вместе с заготовками (рабочий ход – выдвигание штоков гидроцилиндров вертикального перемещения);
- 2) горизонтальное перемещение подвижных балок (рабочий ход – выдвигание штоков гидроцилиндров горизонтального перемещения);
- 3) опускание подвижных балок в исходное положение (холостой ход – втягивание штоков гидроцилиндров вертикального перемещения);
- 4) горизонтальное перемещение подвижных балок в исходное положение (холостой ход – втягивание штоков гидроцилиндров горизонтального перемещения),

позволил привести расчетную схему к обобщающей системе в виде четырехзвенного рычажного механизма (рис. 3) с шарнирами в точках 1, 2, 3 и 4.

В данном механизме звено 1-2 соответствует гидроцилиндру, имеет переменную длину и совершает качательное движение вокруг точки 1. Положение звена 1-2 определяется углом φ_i . Звено 3-4 в процессе движения характеризуется неизменной длиной и поворачивается относительно точки 3, его положение описывается углом ψ_i . Звено 2-4 с фиксированной длиной движется плоскопараллельно.

При составлении математического описания обобщающего механизма в качестве исходных данных приняты:

- 1) координаты точек 1 и 3 – $(x_1; y_1)$, $(x_3; y_3)$;
- 2) координаты точек 2 и 4 в начальном положении – $(x_{2_0}; y_{2_0})$, $(x_{4_0}; y_{4_0})$;

3) приращение длины звена 1-2, соответствующее максимальному ходу гидроцилиндра вертикального перемещения ($s_{в.маx}$) или горизонтального перемещения ($s_{г.маx}$) – Δl_{12} .

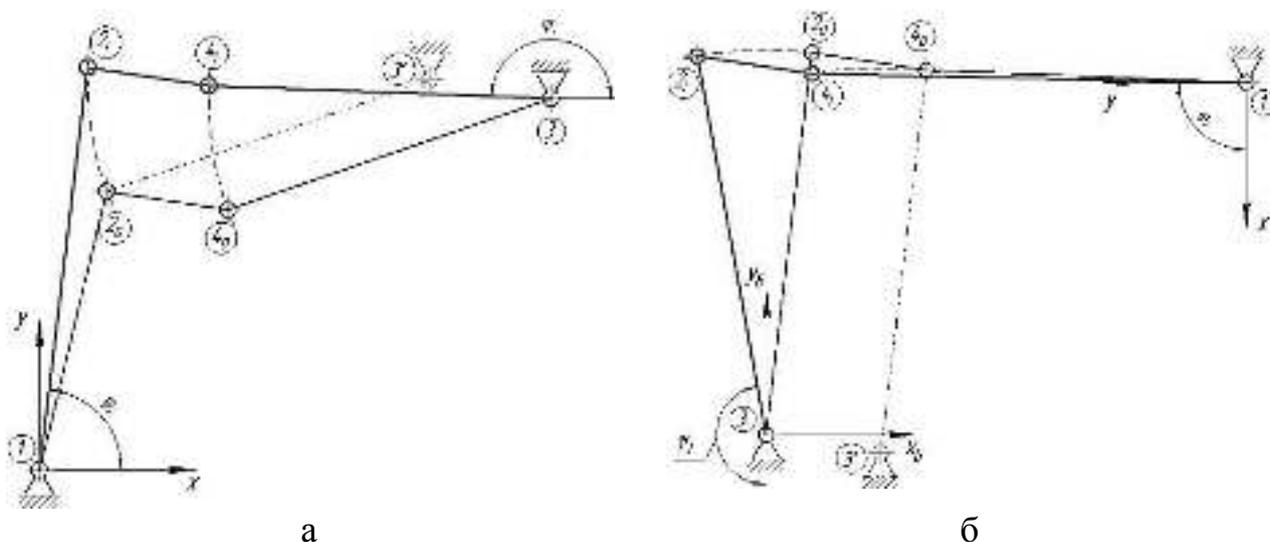


Рисунок 3 – Обобщающая расчетная схема четырехзвенного механизма для этапов движения холодильника 1, 3 (а) и 2, 4 (б)

Определение угла φ сводится к решению квадратного уравнения:

$$a_2 z^2 + a_1 z + a_0 = 0, \quad (1)$$

где a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, значения которых зависят от длин звеньев и координат точек 1 и 3';

z – переменная, $z = \cos \varphi$. (2)

По найденному значению угла φ по формулам:

$$x_2 = x_1 + l_{12} \cdot \cos \varphi, \quad (3)$$

$$y_2 = y_1 + l_{12} \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

рассчитываются координаты точки 2, а затем координаты точки 4:

$$x_4 = x_2 + \Delta x_{24}, \quad y_4 = y_2 + \Delta y_{24}. \quad (5)$$

Угол ψ , характеризующий положение звена 3-4, вычисляется по выражениям:

$$\psi = \begin{cases} \pi + U_{34}, & \text{если } y_4 < y_3; \\ \pi + U_{34}, & \text{если } y_4 \geq y_3, \end{cases} \quad (6)$$

где $U34$ – угол, равный
$$U34 = \arctg \left| \frac{y_3 - y_4}{x_3 - x_4} \right|.$$

Все расчеты выполняются 4 раза – для каждого этапа движения холодильника, при этом учитывается расположение шарниров А, В, С, D и их соответствие точкам 1, 2, 3 и 4 в обобщающем механизме (табл.), а также следующие данные: 1) координаты точек А, D – $(x_A; y_A), (x_D; y_D)$; 2) координаты точек В, С в начальном положении – $(x_{B0}; y_{B0}), (x_{C0}; y_{C0})$; 3) максимальный ход гидроцилиндра вертикального перемещения – $s_{в.маx}$; 4) максимальный ход гидроцилиндра горизонтального перемещения – $s_{г.маx}$.

Проверка адекватности разработанной математической модели была выполнена с помощью физической модели (рис. 4), имитирующей часть холодильника МНЛЗ, соответствующую структурной группе, представленной на рис. 2. Модель включала подвижную и неподвижную балки, два гидроцилиндра вертикального перемещения и один гидроцилиндр горизонтального перемещения. Траектория движения точек подвижной балки фиксировалась путем непосредственной отрисовки. Для этого на поверхности подвижной балки перпендикулярно её продольной оси закреплялся маркер, а перед физической моделью неподвижно устанавливался лист бумаги. Далее на физической модели имитировался цикл движения холодильника. Полученное на бумаге изображение с траекторией движения сканировалось и оцифровывалось. На рис. 5 приведены траектория движения шарнира В, полученная аналитически, и траектория, зафиксированная на физической модели. Максимальная абсолютная погрешность составила 5 мм, относительная погрешность при сопоставлении с ходом гидроцилиндров – 11,1 %, что является допустимым.

Таблица – Соответствие между обозначениями шарниров, точек и переменными в исходном и обобщающем механизмах

Номер этапа движения	Соответствие между обозначениями шарниров и точек				Приращение длины звена 1-2, Δl_{12}	Соответствие между углами	
	1	2	3	4		φ	ψ
1	А	В	D	С	$s_{в.маx}$	φ_1	φ_3
2	D	С	А	В	$s_{г.маx}$	$\varphi_3 = \frac{3}{2}\pi - \varphi$	$\varphi_1 = \frac{3}{2}\pi - \psi$
3	А	В	D	С	$-s_{в.маx}$	φ_1	φ_3
4	D	С	А	В	$-s_{г.маx}$	$\varphi_3 = \frac{3}{2}\pi - \varphi$	$\varphi_1 = \frac{3}{2}\pi - \psi$

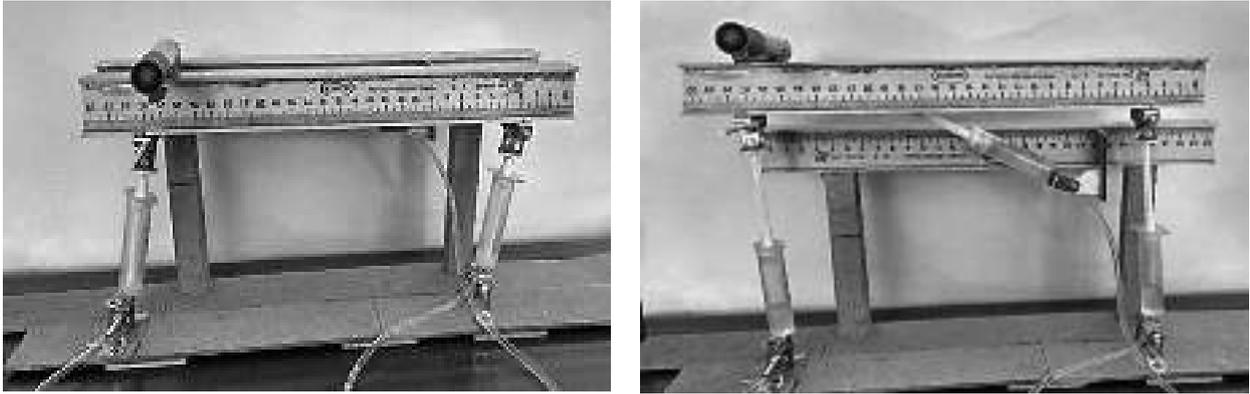


Рисунок 4 – Физическая модель части холодильника МНЛЗ

Используя разработанную математическую модель, для реальной конструкции холодильника МНЛЗ были рассчитаны «эталонные» траектории движения точек, расположенных на подвижных балках, а именно, точек крепления гидроцилиндров вертикального и горизонтального перемещения (рис. 6). Полученные траектории в дальнейшем будут сопоставлены с траекториями, полученными в условиях сталеплавильного цеха путем видеосъемки цикла работы холодильника.

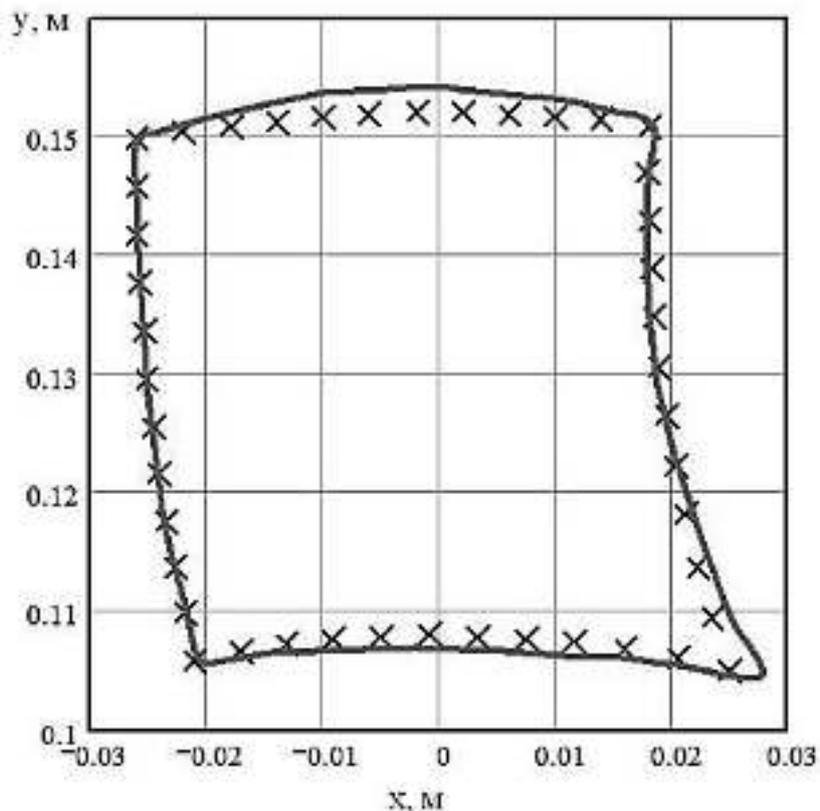


Рисунок 5 – Расчетная (x) и зафиксированная (—) на физической модели траектория движения шарнира В

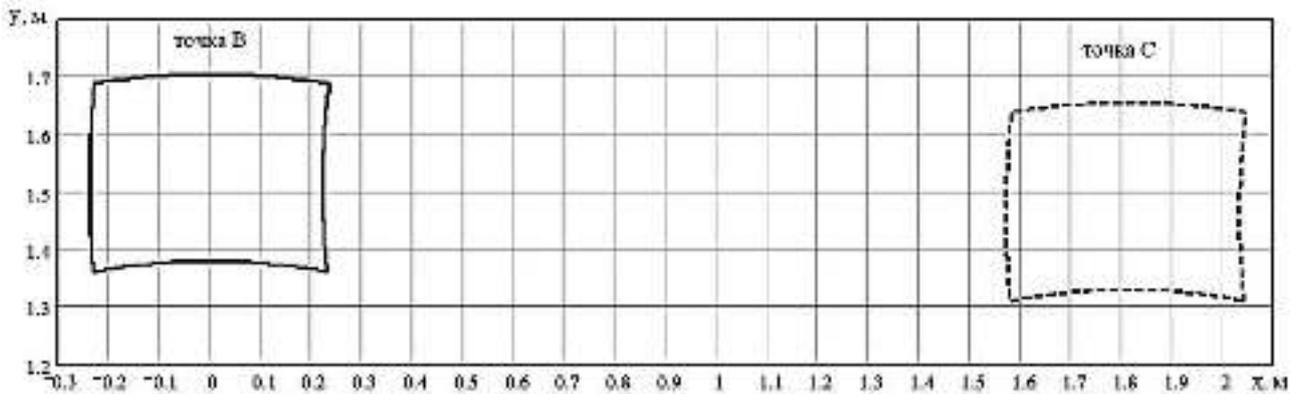


Рисунок 6 – «Эталонные» траектории движения точек крепления гидроцилиндров вертикального (точка В) и горизонтального (точка С) перемещения подвижных балок холодильника МНЛЗ

Таким образом, разработанная усовершенствованная математическая модель для определения траекторий движения контрольных точек на подвижных балках холодильника МНЛЗ является универсальной и менее трудоемкой при выполнении вычислений, а получаемые результаты могут использоваться как при моделировании, так и при диагностировании неисправностей холодильника МНЛЗ с шагающими балками и гидроприводом.

Список источников

1. Шамрай Ю.А. Математическая модель кинематических параметров холодильника МНЛЗ с шагающими балками / Ю.А. Шамрай, Е.В. Ошовская, В.А. Сидоров // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 3-й Межд. науч.-практ. конф., 24-25 мая 2017 г., Донецк. В 9 т. Т. 3: Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 113 – 118.