

Данченко В. Н.
д.т.н., профессор

Рахманов С. Р.
к.т.н., доцент

Тополов В. Л.
к.т.н., преподаватель

**Национальная
металлургическая
академия Украины**

Хацкелян И. П.
к.т.н., ведущий специалист

**ОАО «Интерпайп Нико
Тьюб»**

Danchenko V. N.

Rakhmanov S. R.

Topolov V. L.

**National Metallurgical
Academy of Ukraine**

Khatskelyan I. P.

Interpipe Nico Tube

УДК 621.771.38

ДИНАМИКА ЗАМКНУТОЙ СИЛОВОЙ ЛИНИИ ПРОШИВНОГО СТАНА ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТА

Приведены результаты исследования динамики замкнутой силовой линии прошивного стана трубопрокатного агрегата (ТПА). Составлены дифференциальные уравнения движения для выбранной динамической модели замкнутой силовой линии прошивного стана ТПА без зазоров и с учетом зазоров в сочленениях. Анализом динамической замкнутых моделей прошивного стана ТПА 350 определена взаимосвязь между динамикой механической системы и силовыми условиями функционирования стана. Синтезом динамических моделей силовой линии определены рациональные параметры замкнутой механической системы и механизма установки валков рабочей клетки прошивного стана ТПА 350. Определены параметры устойчивого функционирования главного привода и механизма установки рабочих валков прошивного стана ТПА 350. Предложена конструкция современного универсального шпинделя, что позволяет выполнить взаимную регулировку неравномерности движения ветвей силовой линии прошивного стана ТПА 350.

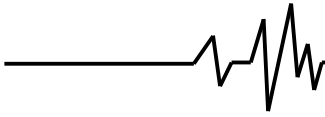
Ключевые слова: *заготовка, труба, гильза, прошивной стан, валок, шарнир, шпиндель, привод, силовая линия, момент инерции, жесткость, динамика, замкнутая механическая система; силы технологического сопротивления, зазоры, колебания.*

Введение. Процессы производства бесшовных горячекатаных труб предусматривают использование комплекса станом винтовой прокатки (прошивные и раскатные), а также систему вспомогательных машин и механизмов, выполняющих различные операции по всей технологической линии.

На предприятиях Украины в настоящее время эксплуатируется определенное количество трубопрокатных агрегатов (ТПА) с прошивными станами выпуска прошлого столетия, которые обладают примерно одинаковыми техническими характеристиками и технологическими возможностями [1, 2]. Отметим, что большинство силовых линий этих станом, в том числе массивные главные приводы, морально и физически устарели и требуют если не полной замены, то коренной модернизации или капитальных ремонтов.

Анализ условий работы ТПА 350 с двумя прошивными станами, показывает, что условия эксплуатации прошивных станом и формирования режимов нагружения элементов

силовых линий являются тяжело нагруженными и носят сложный динамический характер. Характер разрушения базовых деталей главного привода прошивного стана №1 ТПА 350 (рис. 1 а), в условиях ОАО «ИНТЕРПАЙП НИКО ТЬЮБ» (г. Никополь) показали, что причинами поломок являются как значительные перегрузки, так и воздействие периодических или пиковых динамических нагрузок. На прошивных станах ТПА 350 при реализации технологического процесса прошивки трубной заготовки ветви силовой линии образуют замкнутый контур.[3]. Отметим, что на отечественных прошивных станах, рабочие валки приводятся во вращение от одного электродвигателя через шестеренную клеть-редуктор. В процессе прошивки трубная заготовка (металл) и ветви рабочих валков образуют замкнутый контур (рис. 2 а). Изменения суммарных нагрузок в элементах главного привода определяются во взаимосвязи технологических и динамических нагрузок, что обусловлено спецификой



соединений всей трансмиссии прошивного стана. Все это приводит к накоплению значительных повреждений в деталях и в конечном итоге является одной из причин преждевременного выхода из строя деталей силовой линии стана, что обуславливает большие простои всего технологического оборудования. Замкнутые контуры в силовых линиях оказывают существенное влияние на формирование динамики прошивных станов и влияют на условия их функционирования в целом. Среднестатистический простой основного технологического оборудования двух прошивных станов ТПА 350, вызванный аварийным выходом из строя только деталей силовой линии составило более 480 ч/год. Это, кроме материальных затрат, связанных с ликвидацией последствий аварий, приводит к огромным потерям производства труб.

Отметим, что оборудование силовых линий двух прошивных станов ТПА 350 изготовлено в разные периоды время прошлого столетия и на разном техническом уровне. Скоростные и деформационные режимы работы двух последовательно расположенных прошивных станов чаще всего соответствуют нижнему уровню технических характеристик

станов ТПА 350. Простои, связанные с техническим обслуживанием и текущими ремонтами приводов прошивных станов, значительно превышают планируемые показатели.

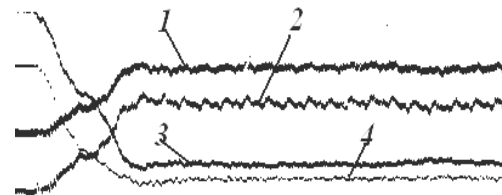
Вновь вводимые в эксплуатацию современные прошивные станы (стан фирмы Mannesmann Meer) имеют как прогрессивные, так и стандартные конструктивные решения по отдельным элементам в т.ч. главного привода стана и использованию инновационной технологии производства труб.

Остановимся на некоторых наиболее значимых результатах экспериментальных исследований и особенностях функционирования силовой линии прошивного стана №1 ТПА 350.

Из осциллограммы экспериментальных исследований прошивного стана ТПА 350 видно, что пики динамических нагрузок всякий раз в период переходных процессов повторяются, когда передний конец трубы входит в рабочие валки стана. Однако некоторый заметный рост динамических нагрузок происходит при выбросе гильзы из прошивного стана (рис. 1 б).



а)



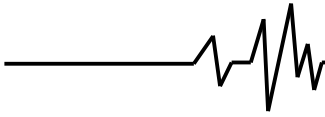
б)

Рис. 1. Характерное разрушение головки универсального шпинделя а) и осциллограмма экспериментальных исследований б), согласно [9] прошивного стана №1 ТПА 350: 1 – момент сил упругости на нижнем шпинделе; 2 – момент сил упругости на верхнем шпинделе; 3, 4 – давления металла на валки (заготовка диаметром 180 мм, сталь 12Х18Н10Т, размер гильзы после прошивки 196х27 мм, интервал времени 0,1 с)

Необходимо указать на то, что зафиксированная на осциллограммах некоторая стабильность давления на упорный подшипник свидетельствует о недостаточной жесткости стержня механизма удержания оправки, демпфирующего переменные осевые усилия прошивки трубной заготовки. Некоторые результаты экспериментальных исследований прошивного стана №1 ТПА 350 [2, 9] обработаны и занесены в таблицу 1. Время действия трех первых пиков динамических

нагрузок составляет примерно 5 – 6% от машинного времени прокатки гильзы. Отметим, что зафиксированные на осциллограммах максимальное значение давления металла на валки равно 1300 кН, давление на упорную головку 480 кН, а максимальный момент на одном из шпинделей рабочих валков составляет 240 кНм.

Кинематическая схема рабочих валков прошивного стана ТПА с групповым приводом приведена на рис. 1.



Таблиця 1

Моменти сил упругости в силовой линии прошивного стана №1 ТПА 350 [2, 9]

		Момент сил упругости на верх. шпинделе, кНм		Момент сил упругости на нижн. шпинделе, кНм		Сила давления металла на валки, кН		Коэффициент неравномерн. нагружения системы
		Мв мах	Мв ср.	Мн мах	Мн ср.	Рв	Рн;	
D 270 мм 285x43 мм	12X5MA	220	200	220	170	1420	1630	0,95
D 270 мм 282x66 мм	20	160	120	170	140	985	1140	1,16
D 270 мм 282x59 мм	09Г2С	180	120	200	130	1020	1220	1,08
D 230 мм 232x48 мм	40X	150	140	180	160	1150	1390	1,07
D 180 мм 196x27 мм	08X18H10T	140	130	190	170	1310	1540	1,31

Постановка задачі. Повышение скоростных режимов работы прошивного стана №1 ТПА 350 сопровождалось не только увеличением динамических нагрузок, но и заметным снижением устойчивости процесса прошивки трубной заготовки [3, 4]. При реализации устойчивых процессов прошивки трубной заготовки сила технологического сопротивления периодически изменяется, достигая максимальной и минимальной величины поочередно. При этом рабочий валок и привод его разворота в барабане подвергаются воздействию периодически изменяющемуся моменту от динамических нагрузок и сил технологического сопротивления. Под воздействием сил технологического сопротивления со стороны очага деформации и динамических нагрузок привода происходит изменение угла подачи рабочих валков в пределах 1-2 градусов, что приводит к нарушению стабильности процесса прошивки трубной заготовки [4, 5, 6].

Особое внимание заслуживают динамические процессы, которые свидетельствуют о наличии в приводе прошивных станов автоколебаний с довольно значительной амплитудой. Автоколебательные динамические процессы в линии привода преимущественно обусловлены особенностями взаимосвязи самой силовой линии прошивного стана с прошиваемым металлом. Автоколебания в системах стана существенно влияют на срок службы оборудования и приводят к переменной подаче гильзы в очаг деформации. Последнее, в свою очередь, сказывается на качестве поверхности гильз

(труб) и повышенном износе технологических инструментов (рабочих валков и оправок).

Заметим, что фиксация рабочих валков в пределах требуемого угла подачи валков, согласно существующей схеме их установки в рабочей клетке, не является жестким, что не исключает возможности возбуждения параметрических колебаний по всей цепи трансмиссии главного привода, синхронным разворотом и движением барабанов с валками в противоположных друг к другу направлениях. Крутильные колебания во всей цепи разворота рабочих валков порождаются преимущественно изменением реакций соответственно в шарнирах шпинделя и опорах рабочих валков.

При этом рабочий валок и привод его разворота в барабане на требуемый угол подачи испытывают периодически изменяющийся момент от динамических нагрузок и сил технологического сопротивления. Под воздействием динамических нагрузок привода и сил технологического сопротивления очага деформации периодически изменяется угол подачи рабочих валков.

Отметим, что в большинстве случаев используемые расчеты динамики станов и процессов винтовой прокатки труб учитывают влияние параметров силовой линии на особенности функционирования линии привода рабочих валков несколько в иной постановке [2, 5]. В связи с этим проведение определенных исследований, направленных на стабилизацию динамических характеристик линии привода тяжело нагруженных прошивных станов ТПА представляются актуальными.

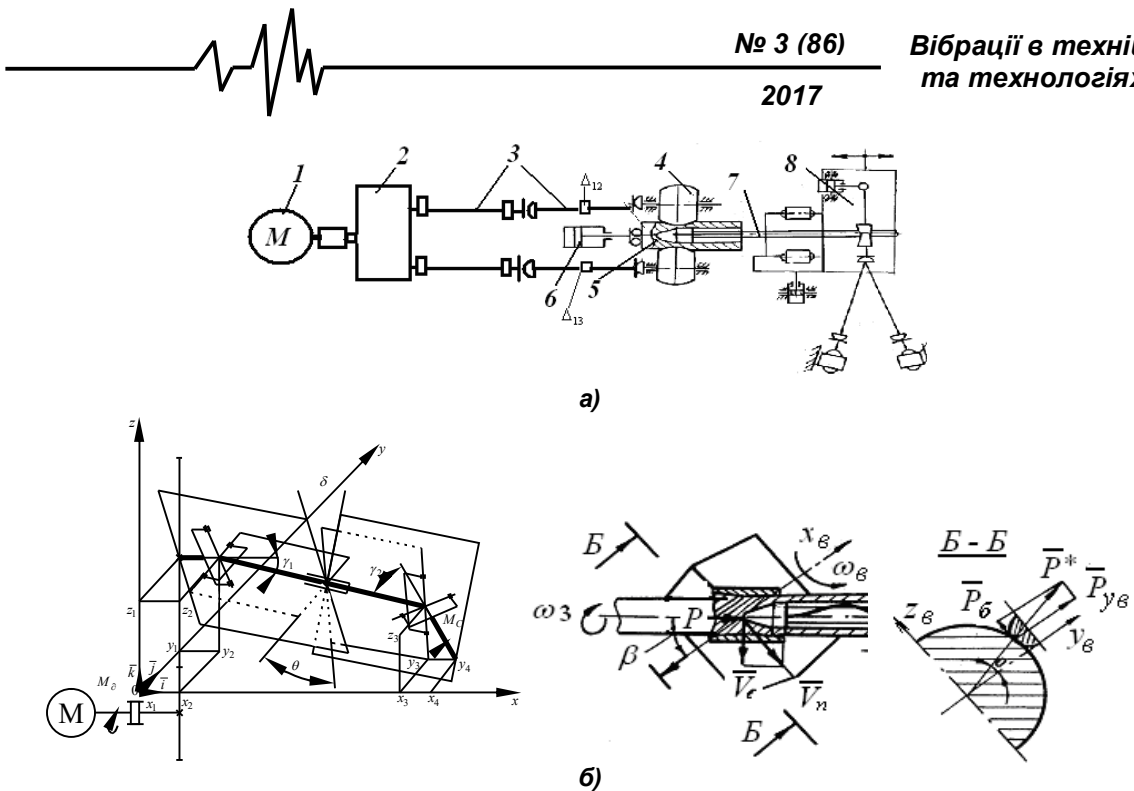


Рис. 2. Кинематическая схема главной силовой линии прошивного стана ТПА а) и силовые условия функционирования механической системы б): 1 – электродвигатель; 2 – шестеренная клеть; 3 – трансмиссия привода; 4 – валки рабочие; 5 – заготовка трубная; 6 – валькователь заготовки; 7 – стержень оправки; 8 – механизм удержания стержня оправки

Цель работы. Целью данной работы является выбор рациональных параметров главной силовой линии прошивного стана переменной структуры, обеспечивающих стабильное функционирование рабочих валков и устойчивую динамику всей механической системы.

Метод решения задачи. Для исследования динамики силовой линии прошивного стана №1 ТПА принята во внимание упрощенная расчетная схема в виде трехмассовой замкнутой динамической модели механической системы переменной структуры, представленная на рис. 3. При составлении

дифференциальных уравнений движения выбранной трехмассовой динамической модели прошивного стана ТПА используем метод эквивалентной жесткости [7, 8]. Принимаем во внимание следующие основные допущения: дискретные массы механической системы силовой линии имеют постоянный момент инерции, внешние моменты постоянны; положение трансмиссии в пространстве условно стационарно; трением в механической системе пренебрегаем; диссипации энергии в главном приводе прошивного стана не происходит.

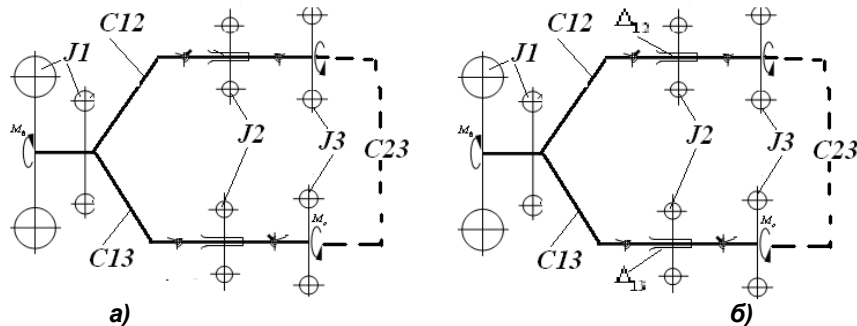


Рис. 3. Динамические модели замкнутой силовой линии прошивного стана ТПА 350 без учета зазоров а) и с учетом зазоров б): J_1, J_2, J_3 – приведенные моменты инерции якоря электродвигателя главного привода и зубчатых колес редуктора (шестеренной клетки), трансмиссионного вала с универсальными шпинделями и рабочих валков прошивного стана

В связи с этим определенным интерес представляет выбор рациональной математической модели для исследования особенностей динамики замкнутой силовой систем линии прошивного стана ТПА. Поскольку особенности поведения трехмассовой модели силовой линии прошивного стана присущи и другим многомассовым моделям, то далее сравним виды математического описания различных форм трехмассовых систем. Составляем в первом приближении уравнения движения для выбранной модели системы, принимая в качестве обобщенной координаты углы поворота масс системы:

$$\begin{cases} J_1 \frac{d^2 \varphi_1}{dt^2} + C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + C_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) = M_1; \\ J_2 \frac{d^2 \varphi_2}{dt^2} - C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + C_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) = -M_2; \\ J_3 \frac{d^2 \varphi_3}{dt^2} - C_{23}(\varphi_2 - \varphi_3) - C_{13}(\varphi_1 - \varphi_3) = -M_3, \end{cases} \quad (1)$$

где φ_1 , φ_2 , и φ_3 углы поворота масс модели силовой линии стана; J_1 ; J_2 ; J_3 – приведенные к валку моменты инерции масс силовой линии стана; C_{12} ; C_{13} ; C_{23} – жесткости межмассовых

упругих связей механической системы; M_1 – момент электродвигателя $M_1 = -k\left(\frac{d\varphi_1}{dt} - \omega_0\right)$;

k – тангенс угла наклона касательной к реальной механической характеристике электродвигателя главного привода стана; ω_0 – номинальная угловая скорость электродвигателя при идеальном холостом ходе; M_2 и M_3 моменты сил технологического сопротивления, действующие на рабочие валки силовой линии стана со стороны прошиваемого металла и очага деформации $M_2 = -M'_2 - M''_2 \sin(vt)$; $M_3 = -M'_3 - M''_3 \sin(vt)$; v – частота изменения технологического момента сил сопротивления со стороны очага деформации и прошиваемой заготовки в процессе винтовой прокатки труб

Для решения системы дифференциальных уравнений (1) в постановке Коши формируем необходимые и достаточные начальные условия задачи

$$\varphi_1(0) = 0; \quad \dot{\varphi}_1(0) = \omega_{01} = 8,37 \text{ рад/с.} \quad (2)$$

Решение задачи реализуем численно с применением метода Рунге-Кутты и информационных технологий в среде Matcad. Результаты расчета динамики замкнутой силовой линии прошивного стана ТПА 350 представлены на рис. 4.

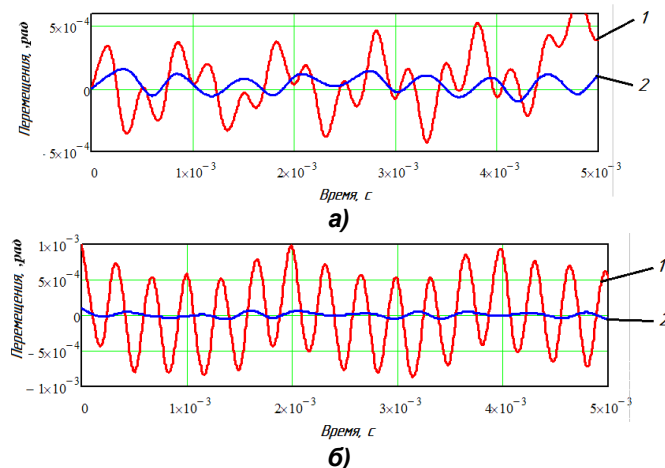
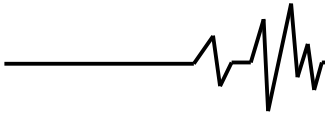


Рис. 4. Динамические особенности функционирования рабочих валков в условиях замкнутой силовой линии прошивного стана №1 ТПА 350 (заготовка diam. 270 мм, гильза 285x43 мм, материал – 12Х5МА): а – угловое перемещение верхнего валка; б – угловое перемещение нижнего валка; 1 – до модернизации привода; 2 – после модернизации привода

Сравнение полученных результатов с данными экспериментальных исследований (см. табл. 1) указывает на необходимость уточнения как динамической, так и

математической модели силовой линии прошивного стана ТПА. Для силовой линии прошивного стана ТПА с общим приводом рабочих валков определенным интерес



представляет изучение процессов, протекающих в механической системе с учетом зазоров в сочленениях, которые в процессе работы стана изменяют свою структуру (обладают переменной структурой), а именно из разветвленной механической системы превращаются в замкнутую и наоборот.

Условия функционирования силовой линии прошивного стана ТПА, уточненная расчетная схема которой приведена на рис. 4 б, характеризуется рядом особенностей. Массы 2 и 3 (соответственно верхний и нижний рабочие валки) при реализации процесса прошивки трубной заготовки свободно перемещаются в полях зазоров ветвей главного привода и к моменту замыкания механической системы (момент задачи заготовки в валки) могут занимать различное

положение относительно массы 1 и друг относительно друга. Поэтому после нагружения механической системы силовой линии моментами сил технологического сопротивления, когда массы 2 и 3 связываются прошиваемым металлом, нагрузки между ветвями системы могут распределяться неравномерно из за того, что во время приложения технологической нагрузки со стороны очага деформации реальные зазоры в ветвях силовой линии не одинаковы. Для исследования и определения динамических нагрузок в силовой линии прошивного стана ТПА составляем дифференциальные уравнения движения выбранной трехмассовой модели замыкающейся механической системы с зазорами в ветвях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 \varphi_{12}}{dt^2} + \left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2} \right) M_{12} = \frac{1}{J_1} (M_1 - M_{13}) + \frac{1}{J_2} (M_2 - M_{23}); \\ M_{12} = C_{12} \left(\varphi_{12} - \frac{\Delta_{12}}{2} \right) \quad \dot{\varphi}_{12} > \left| \frac{\Delta_{12}}{2} \right|; \quad M_{12} = 0 \quad \dot{\varphi}_{12} < \left| \frac{\Delta_{12}}{2} \right|; \\ \frac{d^2 \varphi_{13}}{dt^2} + \left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_3} \right) M_{13} = \frac{1}{J_1} (M_1 - M_{12}) + \frac{1}{J_2} (M_3 + M_{23}); \\ M_{13} = C_{13} \left(\varphi_{13} - \frac{\Delta_{13}}{2} \right) \quad \dot{\varphi}_{13} > \left| \frac{\Delta_{13}}{2} \right|; \quad M_{13} = 0 \quad \dot{\varphi}_{13} < \left| \frac{\Delta_{13}}{2} \right|, \end{array} \right. \quad (3)$$

где M_{12}, M_{23}, M_{13} – моменты сил упругости в связях силовой линии; Δ_{12} и Δ_{13} – зазоры в соответствующих ветвях силовой линии прошивного стана

Принимая во внимание то, что в условиях прошивки трубных заготовок на прошивном стане ТПА поочередно происходит замыкание и размыкание данной связи, момент сил упругости в межвалковом пространстве определяется соответственно: при замыкании валков прошиваемым металлом

$$M_{23} = C_{23} \left[(\varphi_{12} - \varphi_{13}) - (\varphi_{(12)0} - \varphi_{(13)0}) \right] \text{ и} \\ M_{23} = 0, \quad (4)$$

при размыкании межвалковой связи (процесс прошивки завершен) между рабочими валками.

Здесь $\varphi_{(12)0}; \varphi_{(13)0}$ – соответствующие начальные значения относительных углов поворотов масс к моменту замыкания масс (рабочих валков) силовой линии стана. Для решения системы дифференциальных уравнений (4) в постановке Коши формируем необходимые и достаточные начальные условия задачи

$$\varphi_{12}(0) = 0; \quad \dot{\varphi}_{12}(0) = \omega_{01} = 8,37 \text{ рад/с},$$

$$\varphi_{13}(0) = 0; \quad \dot{\varphi}_{13}(0) = \omega_{01} = 8,37 \text{ рад/с}. \quad (5)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (3) реализуем численно методом Рунге-Кутты с применением информационных технологий в среде стандартного программного продукта Matcad. Результаты расчета динамики замкнутой силовой линии прошивного стана ТПА 350 с учетом зазоров в сочленениях представлены на рис. 5.

Разработанные математические модели и проведенные исследования динамики замкнутой силовой линии переменной структуры позволили установить специфику функционирования сложной механической системы прошивного стана ТПА.

Полученные результаты используются на всех стадиях – от соответствующих этапов проектирования до этапов эксплуатации и планирования ремонтов главной силовой линии прошивного стана №1 ТПА 350 (рис. 6). Далее переходим к вспомогательному анализу условий совместного функционирования силовой линии и механизма установки валков с барабанами в рабочей клетке прошивного стана №1 ТПА 350.

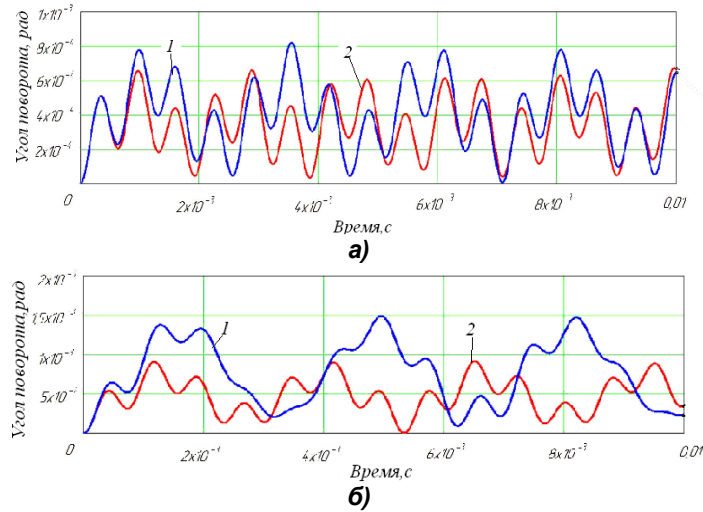
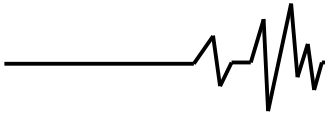


Рис. 5. Динамические особенности функционирования рабочих валков замкнутой силовой линии прошивного стана №1 ТПА 350 с учетом зазоров в сочленениях (заготовка диам. 270 мм, гильза 285х43 мм, материал – 12Х5МА): а – угловое перемещение верхнего валка; б – угловое перемещение нижнего валка; 1 – до модернизации привода; 2 – после модернизации привода

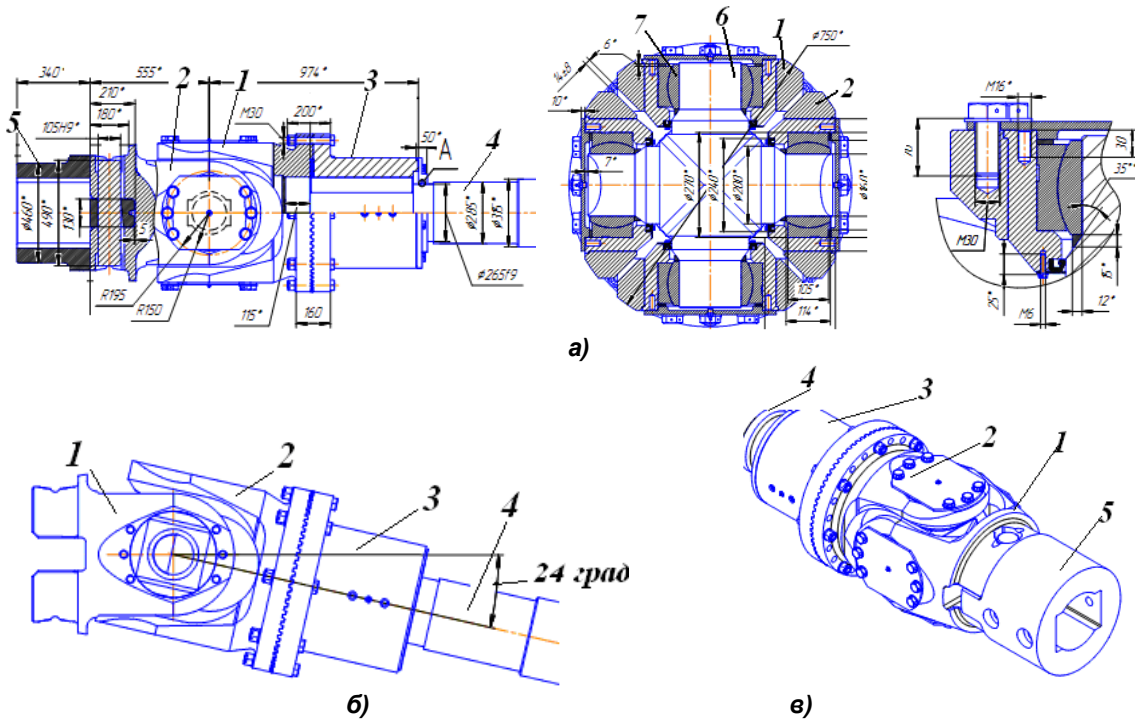
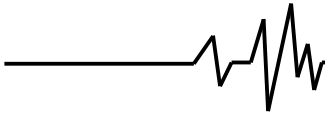


Рис. 6. Конструкция а) угол отклонения б) и трехмерная модель в) модернизированного универсального шпинделя силовой линии прошивного стана №1 ТПА 350: 1 –вилка полумуфты валка; 2 – вилка; 3 – полумуфта вала шпинделя; 4 – вал шпинделя; 5 – полумуфта валка; 6 – крестовина; 7 – стакан; 8 – шарнирный подшипник

Согласно результатам работы [9] дифференциальное уравнение движения цепи разворота валков вместе с барабаном и другими элементами механизма установки,

вследствие наличия периодической динамической составляющей силы реакций шарниров трансмиссии, имеет колебательный характер. Заметим, что, необходимо проверить



выполнение условия ухода механической системы от параметрического резонанса

$$\sqrt{C/J} \ll \dot{\phi}_4 \text{ или } \sqrt{C/J} \dot{\phi}_4 \quad (6)$$

где J и C – экваториальный момент инерции масс и крутильная жесткость упругих элементов цепи разворота валков в барабане рабочей клетки; $\dot{\phi}_4$ – угловая скорость рабочего валка

Характерно то, что ось барабана рабочего валка в станине в процессе прокатки совершает малые колебания, при этом вектор ее угловой скорости перпендикулярен оси прокатки. Гироскопический момент пары сил M_g возникающей в плоскости перпендикулярной к угловой скорости поворота оси валка, приводит к циклическому изменению давления металла на валки и крутящего момента по всей силовой линии стана. Таким образом, в ходе выполнения технологического процесса прошивки на стане, главный привод кроме обычного (квазистатичного)

сопротивления деформации металла M_c испытывает зависящий от угловой скорости динамический момент соответствующей амплитуды. Если период возмущения рассматриваемой системы совпадает с периодом изменения угловой скорости главного привода, то при большой амплитуде, достаточной для преодоления момента внутреннего трения трансмиссии привода поворота, происходит ее раскочка. Уравнение движения элементов привода прошивного стана с математической точки зрения содержит характерное возмущение (правая часть) с частотой, совпадающей с частотой периодических коэффициентов левой части уравнения. Это оказывает решающее значение на возникновение неустойчивого решения задачи, растущего со временем, что обуславливает нарушение стабильности процесса прошивки трубной заготовки. Значительное число отказов деталей рабочей клетки, линии привода рабочих валков и их износостойкость обусловлены данными циклическими динамическими нагрузками.

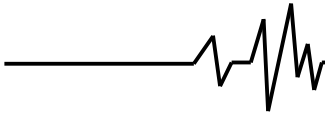
Отметим, что при сопоставлении условий функционирования механической системы во взаимосвязи с технологическими режимами нагружения со стороны очага деформации на этапе проектирования силовой линии удается выбрать и реализовать ряд мероприятий, направленных на повышение надежности и долговечности узлов главной трансмиссии прошивного стана №1 ТПА 350.

Выводы

1. Установлены особенности функционирования силовой линии прошивного стана ТПА 350 и составлена уточненная математическая модель для замкнутой динамической системы переменной структуры.
2. Анализом динамической замкнутых моделей прошивного стана ТПА 350 определена взаимосвязь между динамикой механической системы и силовыми условиями функционирования силовой линии стана
3. Синтезом различных динамических моделей силовой линии прошивного стана ТПА 350 определены рациональные параметры замкнутой механической системы и механизма установки валков в рабочей клетки. Например, при прошивке трубных заготовок (заготовка диаметром 180 мм, сталь 08X18H10T, размер гильзы после первой прошивки равен 192x27 мм) установлено, что величина рационального угла подачи рабочих валков на прошивном стане ТПА 350 составляет $\gamma_2 = 11^\circ$.
4. Определены параметры устойчивого функционирования главного привода и механизма установки рабочих валков прошивного стана ТПА 350. Предложена конструкция современного универсального шпинделя с возможностью регулирования взаимной неравномерности движения ветвей силовой линии прошивного стана ТПА 350.

Список использованных источников

1. Потапов И.Н., Полухин П.И. Новая технология винтовой прокатки. – М.: Металлургия, 1975. – 346 с.
2. Соловейчик П.М. Трубопрокатные агрегаты с автомат-станом. – М.: Металлургия, 1967. – 160 с.
3. Большаков В.И. О математическом описании и некоторых особенностях работы замкнутых механических систем. Динамика металлургических машин. Т XXXI – М.: Металлургия, 1969. – С. 13–17.
4. Раскин Я.М., Зданевич В. А. Исследование динамических процессов в замкнутой системе привода механического трубного пресса. Труды первой конференции по расчетам на прочность металлургических машин. Москва: ВНИИМЕТМАШ, 1968, № 23. С. 144–152.
5. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах. – Киев: Наукова думка, 1986. – 288 с.
6. Павленко А.П. Динамика тяговых приводов карданного типа транспортных



машин. – М.: Машиностроение, 1969, №1. С.111 – 116.

7. Якубович В.А., Стержинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения.– М.: Наука, 1972. – 720 с.

8. Иванченко Ф.К., Полухин П.И., Тылкин М.А., Полухин В.П. Динамика и прочность прокатного оборудования. М.: Metallurgiya, 1970. – 486 с.

9. Рахманов С.Р., Данченко В.Н., Морозова Л.А. Динамические особенности привода валков рабочей клетки стана винтовой прокатки труб. // Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost', 2009, №2. – С. 47–52.

Список источников в транслитерации

1. Potapov I.N., Polukhin P.I. Novaya tekhnologiya vintovoy prokatki. – М.: Metallurgiya, 1975. – 346 s.

2. Soloveychik P.N. Truboprokatnyye agregaty s avtomat-stanom. – М.: Metallurgiya, 1967. – 160 s.

3. Bolshakov V.I. V matematicheskom opisani i Nekotorykh osobennostyakh raboty zamknytykh mekhanicheskikh sistem. Dinamika metallurgicheskikh mashin. Т КНКНKHИ – М.: Metallurgiya, 1969. – С. 13–17.

4. Raskin Ya.M., Zdanevich V. A. Issledovaniye dinamicheskikh protsessov v zamknoy sisteme privoda mekhanicheskogo trubnogo pressa. Trudy pervoy konferentsii po raschetam na prochnost metallurgicheskikh mashin. Moskva: VNIIMETMASH, 1968, № 23. – С. 144–152.

5. Kozhevnikov S.N. Dinamika nestatsionarnykh protsessov v mashinakh. – Kiyev: Naukova dumka, 1986. – 288 s.

6. Pavlenko A.P. Dinamika tyagovykh privodov kardannogo tipa transportnykh mashin. – М.: Mashinostroyeniye, 1969, №, 1. – С. 111–116.

7. Yakubovich V.A., Sterzhinskiy V.M. Lineynyye differentsialnyye uravneniya s periodicheskim koeffitsiyentami i ikh prilozheniya. – М.: Nauka, 1972. – 720 s.

8. Ivanchenko F.K., Polukhin P.I., Tylkin M.A., Polukhin V.P. Dinamika i prochnost' prokatnogo oborudovaniya. М.: Metallurgiya, 1970. – 486 s.

9. Rakhmanov S.R., Danchenko V.N., Morozova L.A. Dinamicheskiye osobennosti privoda valkov rabochey kleti stana vintovoy prokatki trub. // metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost', 2009, №2. – С. 47–52.

ДИНАМІКА ЗАМКНУТОЇ СИЛОВОЇ ЛІНІЇ ПРОШИВНОГО СТАНУ ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ

Анотація. Наведено результати дослідження динаміки замкнутої силової лінії прошивного стану трубопрокатного агрегату (ТПА). Складено диференціальні рівняння руху для обраної динамічної моделі замкнутої силової лінії прошивного стану ТПА без зазорів і з урахуванням зазорів в з'єднаннях. Аналізом динамічної замкнутої моделі прошивного стану ТПА визначено взаємозв'язок між динамікою механічної системи і силовими умовами функціонування табору. Синтезом динамічних моделей силової лінії визначені раціональні параметри замкнутої механічної системи і механізму установки валків робочої кліті прошивного стану ТПА 350. Визначено параметри сталого функціонування головного приводу і механізму установки робочих валків прошивного стану ТПА 350. Запропоновано конструкцію сучасного універсального шпинделя, що дозволяє виконати взаємну регулювання нерівномірності руху гілок силової лінії прошивного стану ТПА 350.

Ключові слова: заготівля, труба, гільза, прошивний стан, валок, шарнір, шпиндель, привід, силова лінія, момент інерції, жорсткість, динаміка, замкнута механічна система; сили технологічного опору, зазори, коливання.

DYNAMICS OF THE CLOSED PARSING POWER LINE OF THE CAMP

Annotation. Results of a research of dynamics of the closed power line of a parsing camp of the pipe-rolling unit (TPA) are given. The differential equations of the movement for the chosen dynamic model of the closed power line of a parsing camp of TPA without gaps and taking into account gaps in joints are worked out and features of functioning of mechanical system are revealed. The comparative analysis of the received results with given pilot studies on the example of the power line of a parsing camp to TPA 350 is carried out. The scheme of modernization of the main power line of a parsing camp of TPA is offered.

Key words: parsing a camp, preparation, a pipe, a sleeve, a roll, the hinge, a spindle, the drive, the inertia moment, rigidity, dynamics, the closed mechanical system; forces of technological resistance, gaps, fluctuations.