

Рахманов С. Р.

*Национальная
металлургическая
академия
Украины*

УДК 621.771.06

К ВОПРОСУ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЯМИ СТЕРЖНЯ ОПРАВКИ ПРОШИВНОГО СТАНА

Розроблена математична модель оптимального управління віброактивністю стержневої системи механізму утримання оправки прошивного стану. Для вибраних структур системи управління коливаннями і відповідних моделей стержневої системи прошивного стану визначені параметри оптимальних дій, що управляють.

A mathematical optimal case vibroactivity of the cored system of mechanism of withholding of mounting of прошивного figure frame is worked out. For the chosen structures of control system and corresponding models of the cored system of прошивного figure by vibrations the parameters of optimal managing influences are certain.

Исследование динамики стана винтовой прокатки труб (прошивного стана) трубопрокатных агрегатов (ТПА) и проблем точности горячекатаных труб показывают, что прошивные станы обладают высокой виброактивностью, а трубы, изготовленные на данных агрегатах, имеют значительные по величине продольную и поперечную разностенности.

Из литературы известно, что данный недостаток в целом относится к исходной схеме винтовой прокатки труб и, в основном, связан с особенностями функционирования существующей механической системы прошивных станов [1, 2].

Устранение неустойчивых или критических состояний деформируемых систем стана винтовой прокатки труб, преимущественно, направлено на снижение виброактивности данной механической системы до нормативных величин и на повышение качества выпускаемых труб.

Для подтверждения правомочности принятых технических решений по реконструкции механизмов удержания стержня оправки более подробно остановимся на примере динамики системы прошивного стана ТПА, обладающей наиболее ярко выраженной виброактивностью.

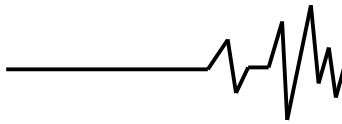
Поэтому, учитывая актуальность поставленного вопроса, в данной работе предлагается рассмотреть активное

устранение критических или неустойчивых состояний деформируемых элементов стержневой системы оправки и других узлов центрователей механизма удержания стержня на выходной стороне прошивного стана ТПА.

Характерно, что далеко не всегда желаемые результаты дают известные пассивные способы регулирования виброактивности сложных механических систем, к которым относится механизм удержания оправки на оси прошивки (выбор масс жесткостей системы и т.д.). В ряде случаев пассивное управление колебаниями стержневой системы механизма удержания оправки, заключается в основательном конструктивном изменении динамических параметров данной деформируемой системы. Как правило, данные реконструкции связаны с внесением сложных коренных изменений в основную механическую систему станов, а в ряде случаев их применение нецелесообразно или становится практически невозможным [2].

Поэтому для стабилизации виброактивности механизма удержания стержня оправки на выходной стороне прошивного стана ТПА произведена соответствующая модернизация с последующей установкой группы подвижных центрователей.

Кинематические схемы усовершенствованного механизма удержания оправки прошивных станов, соответственно с



осевой и боковой выдачей гильз, приведены на рис. 1 [1, 2].

Выходная сторона модернизированного прошивного стана (механизма удержания оправки) ТПА состоит из упорно-регулирующего механизма 1, длинноходового цилиндра 2 привода его перемещения, центрователей 3, стержня 4 и оправки 5. Стержень с оправкой в течение всего процесса прошивки трубной заготовки 7 удерживается между рабочими валками 6, опорными узлами (роликами) центрователей и прокатываемой трубой. Подвижные центрователи стержня размещены на базовых направляющих стана и связаны с приводом принудительного их перемещения 8 вдоль оси прокатки. Датчиками

вибрации 9 фиксируются пороговые значения динамических процессов (амплитуды колебаний), передаваемых со стороны стержня опорным механизмам центрователей 3. Далее, по пороговым величинам амплитуд колебаний, система, посредством преобразователей 10 и следящей системы, блок управления 11, формирует управляющие сигналы командоаппарата 12. По необходимости, система управления в заданном режиме, по заранее просчитанным алгоритмам, перемещает соответствующие центрователи 3 вдоль оси прокатки, и, гарантированно, переводит систему из неустойчивого состояния в область желаемых состояний.

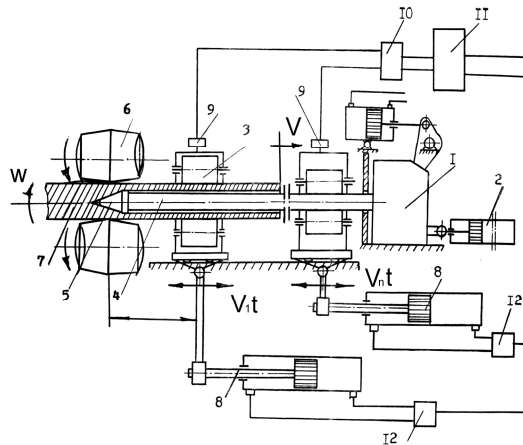


Рис. 1. Механизм удержания стержня оправки прошивного стана ТПА с адаптивной системой управления колебаниями

Сущность управления колебаниями деформируемых систем прошивного стана ТПА заключается в том, что в механизм удержания оправки вводится дополнительное адаптивное силовое или кинематическое управляющее воздействие, заранее определённой структуры. В данной постановке, рассматриваемая задача сводится к определению параметров рационального управляющего воздействия для системы виброизоляции стержня оправки в процессе прошивки в следящем режиме.

Путем формирования параметров рационального управляющего воздействия механическая система посредством подвижных центрователей возвращается в область желаемых состояний. Изображающая точка (места установки датчиков порогового значения) деформируемой системы стержня с оправкой к фиксированному или минимальному моменту времени переходного процесса прошивки трубной заготовки из области

критических состояний переводится в область устойчивых состояний.

Подчеркнем характерные особенности формирования рационального управляющего воздействия на систему и виброизоляции механизма удержания оправки, которые заключаются в следующем. Выбираются управляющее устройство с определенным классом управляющих воздействий заранее задаваемой структуры, и базовые требования, предъявляемые к технологическому процессу прошивки трубной заготовки на прошивном стане. При этом формируются границы феноменологической модели области желаемых состояний механической системы, исходя из условий выполнения устойчивых технологических процессов на выходной стороне прошивного стана.

Необходимо подчеркнуть, что параметры управляющих воздействий заранее задаваемой структуры $u(x,t)$, которые оптимальны по



быстродействию и воздействуют в противофазе с различными технологическими возмущениями за время $t = T_{\min}$, переводят исходную механическую систему с известной моделью, при известных начальных и граничных условиях, в область желаемых состояний с допустимыми уровнями виброактивности.

Для удобства анализа реализации процесса управления колебаниями и виброизоляции деформируемых систем стержня оправки прошивного стана ТПА, рассмотрим некоторые наиболее распространенные или часто встречающиеся математические модели виброактивности данной механической системы.

Пусть, математическая модель динамики стержневой системы механизма удержания оправки в детерминированном виде, согласно [2], описывается уравнениями

$$\frac{d^2 q_i}{dt^2} + \lambda^2 q_i = H(t), [i = \overline{1, n}], \quad (1)$$

при следующих начальных условиях задачи

$$q(0) = q_0; \quad \dot{q}(0) = q_1. \quad (2)$$

На практике, для решения задачи оптимального управления колебаниями аналогичных систем, как правило, используется хорошо известный метод вариации произвольных переменных М.Г. Крейна [4]. Применение данного метода связано с вариацией переменных неклассического типа и введением универсальных операторов дифференцирования. Очевидно, что для механической системы (1) с выбранной математической моделью двумерный вектор

конечного состояния стержневой системы стержня оправки имеет вид

$$W_g = colon [q_0^T; q_1^T]. \quad (3)$$

Необходимо подчеркнуть, что в большинстве случаев применение данного метода связано с использованием сложного математического аппарата.

Для определения параметров системы управления в ряде случаев применяется достаточно простой полуобратный метод управления виброактивностью деформируемых механических систем, предложенный И.А. Карновским в работе [4]. Данный метод базируется на основе известных классов и видов реальных исполнительных устройств, а также систем виброизоляции.

Для рассматриваемой модели разветвленной механической системы механизма удержания оправки предлагаем (выбираем) оптимальное управление колебаниями системы определенной или задаваемой структуры типа

$$u(t) = [1 - \exp(-\alpha t)](k_1 \cos(\lambda t) + k_2 \sin(\lambda t)). \quad (4)$$

Данный вид управляющего воздействия устройства соответствует переходному процессу самого исполнительного органа системы виброизоляции прошивного стана.

Путем использования данного метода находим параметры k_1 и k_2 оптимального управления, которые осуществляют перевод стержневой системы из критически неустойчивого состояния в желаемое устойчивое состояние за фиксированное или минимальное время $t = T_{\min}$

$$\begin{aligned} S &= -\lambda\beta + \left[\frac{T}{2\lambda} - \frac{2\lambda}{\alpha}\beta \right] \left(\frac{T}{2} - \frac{\alpha^2 - 2\lambda}{\alpha}\beta \right); \\ S_1 &= \left(q_1^T - q_1 + \frac{HT}{2\lambda} \right) \lambda\beta + (q_1^T - q_1) \left(\frac{T}{2\lambda} - \frac{2\lambda}{\alpha}\beta \right); \\ S_2 &= (q_1^T - q_1)\beta - \left(q_0^T - q_0 - \frac{HT}{2\lambda} \right) \left(\frac{T}{2} - \frac{\alpha^2 - 2\lambda^2}{\alpha} \right); \\ k_1 &= \frac{S_1}{S}; \quad k_2 = \frac{S_2}{S}; \quad \beta = \frac{1 - \exp(-\alpha T)}{\alpha^2 + 4\lambda^2}; \quad T = \frac{2\pi}{\lambda}n; \quad [n = 1, 2, 3, \dots] \end{aligned} \quad (5)$$

Для случая резонансного воздействия внешних возмущений, например, воздействие со стороны главного привода и очага

деформации $H(t) = A \sin(\lambda t)$, выбранного вида параметров управляющего воздействия



(4) ($\lambda = 6 c^{-1}$; $\alpha = 0,1 c^{-1}$) и нулевых начальных условиях $q_0 = q_1 = q_0^T = q_1^T = 0$ параметры оптимального управления прошивного стана ТПА 30-102 соответственно равны $k_1 = 314,8 \frac{M}{c^2}$

$$\text{и } k_2 = 66,7 \frac{M}{c^2}.$$

Отметим, что динамика стержневой системы прошивного стана в ряде случаев описывается системой дифференциальных уравнений

$$\frac{d^2 q_i}{dt^2} + 2n \frac{dq_i}{dt} + \omega^2 q_i = H(t), [i = \overline{1, n}]. \quad (6)$$

Предположим, что данный случай соответствует пилообразному возмущению $H(t)$ со стороны очага деформации (случай непрерывных воздействий в осевом направлении на стержень оправки). Выбираем характер управляющего воздействия согласно (4). Результаты расчета для механизма удержания стержня оправки для прошивного стана ТПА 30-102 ($\omega = 6 c^{-1}$; $n = \alpha = 0,1 c^{-1}$, $\lambda = \sqrt{\omega^2 - n^2}$).

Пусть положение изображающей точки механической системы в рамках динамической модели удержания стержня, согласно [2, 3], описывается уравнениями.

$$\frac{d^2 q_i}{dt^2} + \lambda^2 q_i = H(t);$$
$$H(t) = A \sin(vt), [i = \overline{1, n}] \quad (7)$$

Примем следующее значение параметров стержневой системы и технологического процесса прошивки на прошивном стане ТПА 30-102 (например, $\varepsilon = 0,1 c^{-1}$; $\omega = 6,28 c^{-1}$). При известных (например, нулевых) начальных условиях задачи управляющее воздействие $u(t)$ выбираем в виде (8). Расчеты показывают, что эти значения, согласно диаграмме Айнса-Стретта, не соответствуют области динамической устойчивости стержневой системы с оправкой при прошивке трубной

При этом, примем управление виброактивностью деформируемой системы в соответствие с выбранным классом исполнительных и управляющих устройств без демпфирования

$$u(t) = k_1 \cos(\lambda t) + k_2 \sin(\lambda t). \quad (8)$$

Для области желаемых состояний стержневой системы в процессе прошивки трубной заготовки с известной динамической моделью управляющее воздействие с учетом демпфирования элементов прошивного стана ТПА 30-102 ($\lambda = 1 c^{-1}$, $\nu = 1,5 c^{-1}$, $\alpha = 0,1 c^{-1}$) можно представить в виде

$$u(t) = \beta^2 [k_1 \cos(\lambda t) + k_2 \sin(\lambda t)],$$
$$\beta = 1 - \exp(-\alpha t); \quad (9)$$

Предлагаемый алгоритм решения задачи также можно применять тогда, когда динамические явления стержневой системы прошивного стана ТПА описываются системой дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами [2, 3].

Базируясь на результатах ранее проведенных исследований [3], отметим, что динамические процессы в стержневой системе механизма удержания оправки прошивного стана при соответствующих взаимодействиях со стороны очага деформации и параметрах опорных механизмов центрователей стержня достаточно корректно описываются математической моделью, представленной известными уравнениями Матье-Хилла.

$$\frac{d^2 q_i}{dt^2} + 2\varepsilon \frac{dq_i}{dt} + \omega^2 [1 - 2\mu \cos(\theta t)] q_i = u(t), [i = \overline{1, n}] \quad (10)$$

заготовки диаметром 150 мм из стали 20 на прошивном стане ТПА 30-102.

Видно, что во всех случаях путем введения в исходную систему управляющего воздействия заранее определенной структуры $u(t)$ в пределах времени, соответствующем времени переходного процесса прошивки трубной заготовки на прошивном стане ТПА 30-102, механическую систему из критического состояния переводим в область желаемых состояний.



Необходимо подчеркнуть, что качественно изменяются динамические процессы механизма удержания оправки, а сама стержневая система стана переводится в область желаемых состояний (допустимых вибраций). Дальнейший процесс прошивки трубной заготовки на прошивном стане происходит в устойчивом режиме, что обеспечивает значительное повышение качества труб.

Из вышеизложенного следует, что путем удержания изображающей точки системы стана (середины стержня и опорных узлов центрователей) обеспечивается устойчивое функционирование стержневой системы с оправкой в процессе прошивки трубной заготовки в области желаемых состояний, в соответствии с требованиями нормативных документов и технологии.

Отметим, что во всех рассматриваемых случаях процесс активного управления колебаниями механической системы реализуются следующим образом. На опорных механизмах центрователей механизма удержания стержневой системы с оправкой заранее устанавливаются датчики порогового значения. Во время колебаний по сигналам датчиков производится формирование управляющего воздействия исполнительных устройств известного вида и управляющих алгоритмов, заранее рассчитанных с помощью математической модели системы. Когда изображающая точка (например, середина стержневой системы) или характерные точки опорных механизмов центрователей стержня оправки достигают желаемой области динамической устойчивости системы, активное управление отключается. Если в дальнейшем в процессе последующей прошивки трубной заготовки на стане возмущающая нагрузка выводит стержневую систему за рамки области желаемых состояний, то процесс управления виброактивностью системы повторяется.

Предлагаемый метод активного управления колебаниями можно применить к

решению задачи управления колебаниями (динамическим состоянием) стержневой системы аналогичных станом.

Выводы

1. Предложена система активного управления виброактивностью стержня оправки прошивного стана ТПА и разработана ее математическая модель.

2. Выбраны соответствующие структуры системы виброизоляции и определены параметры оптимальных управляющих воздействий стержневой системой механизма удержания оправки прошивного стана.

3. Предложен механизм реализации оптимального управления виброактивностью стержневой системы механизма удержания оправки прошивного стана.

Литература

1. Данченко В. Н. Технология трубного производства. Учебник для вузов. / В. Н. Данченко, А. П. Коликов, Б. А. Романцев, С. В. Самусев // . – М. : Интермет - Инжиниринг, 2002. – 640 с.

2. Рахманов С. Р. Динамика стержневой системы механизма удержания оправки прошивного стана трубопрокатного агрегата. Материалы Международной конференции «Современные направления производства сварных и бесшовных труб из черных и цветных металлов», Днепропетровск. – 2007. С. 45 – 51.

3. Рахманов С. Р. Моделирование виброактивности стержня оправки стана винтовой прокатки труб / С. Р. Рахманов, В. Л. Тополов // Вибрация в технике и технологиях. – 2011, № 1 (67). С. 53 – 58.

4. Карновский И. А. Оптимальное управление колебаниями деформируемых систем. / И. А. Карновский, Ю. М. Почтман // – К. : 1985. – 254 с.