

## СНИЖЕНИЕ ПУСКОВЫХ ТОКОВ МОЩНЫХ ДЕБАЛАНСНЫХ ВИБРОПРИВОДОВ

**Введение.** Повышение качества помола измельчаемых строительных материалов способствует интенсификации современных технологических процессов [1,2]. Требования повышения качества продукции и снижения ее себестоимости, в свою очередь, мотивирует использование в производственных условиях более мощных вибрационных мельниц большой производительности. В частности, применение дебалансных виброприводов мощных мельниц на базе синхронных двигателей сопряжено с длительным их пуском при значительных токах, что требует соответствующего запаса мощности источников питания, приводящего к повышению капитальных эксплуатационных расходов.

Следовательно, использование более мощных асинхронных виброприводов мельниц, с улучшенными пусковыми характеристиками, без увеличения мощности электрической подстанции, является актуальной задачей.

**Цель работы.** Улучшение пусковых характеристик дебалансного вибропривода.

**Материалы и результаты исследования.** Основными элементами вибромельницы (рисунок 1) являются:

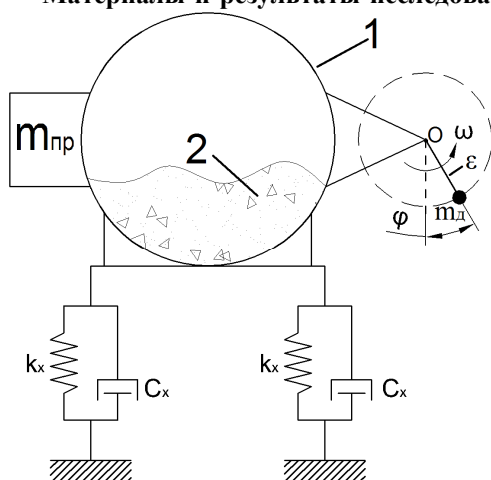


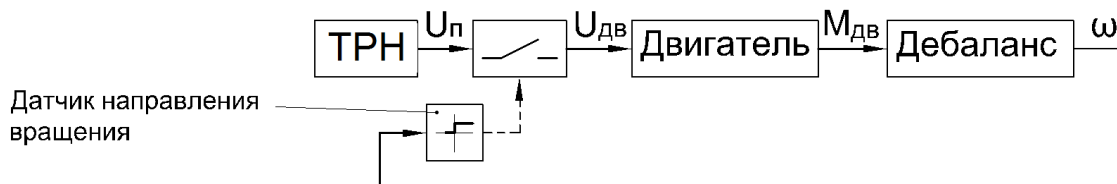
Рисунок 1 – Кинематическая схема вибромельницы

помольная камера 1 с мелющими телами 2 и вибровозбудитель, представляющий собой дебаланс массой  $m_d$ , вращающийся вокруг оси О, жестко связанной с помольной камерой. Помольная камера связана с основанием посредством упругих элементов с жесткостью  $C_x$  и демпфирующих элементов с коэффициентом сопротивления  $k_x$ . Вибровозбудитель уравнивается противовесом массой  $m_{пр}$ , расположенным с противоположной стороны помольной камеры. Одним из основных параметров вибровозбудителя является статический момент дебаланса  $M_{ст} = m_d \cdot \epsilon$ , где  $\epsilon$  - эксцентриситет.

Снижение пускового тока асинхронного двигателя может быть достигнуто путем плавного пуска на основе тиристорного регулятора напряжения (ТРН). Однако для дебалансных виброприводов при  $M_{ст} > 1,18 \text{ Мп}$  запуск невозможен [3] по причине недостаточности накопленной в первый полупериод вращения кинетической энергии для перехода дебаланса через верхнюю точку. Данное обстоятельство существенно ограничивает возможности снижения пусковых токов

дебалансных виброприводов путем питания пониженным напряжением.

Предложено осуществлять запуск вибромельницы путем постепенного раскачивания дебалансов до осуществления полного оборота (рисунок 2). Благодаря нелинейной обратной связи, которая обеспечивается датчиком направления вращения, питание на двигатель подается только тогда, когда его момент совпадает по направлению с угловой скоростью, в результате чего происходит накопление энергии в колебательном движении дебаланса. После того как дебаланс пройдет через верхнюю точку ТРН работает в режиме стабилизации тока.



$U_{п}$  – напряжение питания;  $U_{дв}$  – напряжение двигателя;  $M_{дв}$  – момент двигателя;  
 $\omega$  – угловая скорость вращения дебаланса

Рисунок 2 – Функциональная схема системы управления пуском вибромельницы

В начальной стадии запуска ( $\omega \ll \omega_{ном}$ ) колебания помольной камеры незначительны, так как возмущающая сила, создаваемая вибровозбудителем существенно меньше номинального значения. Следовательно, влиянием момента, обусловленного движением оси вращения неуравновешенного тела [4], на процесс запуска можно пренебречь. С учетом сказанного выше движение дебаланса в начальной стадии запуска описывается следующей системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_{\Sigma}} \cdot (M_{\text{дв}} + M_{\text{деб}} + F_{\text{тр}}) \\ M_{\text{деб}} = M_{\text{ст}} \cdot \sin \varphi \\ F_{\text{тр}} = K_{\text{тр}} \cdot \text{sign}(\omega) \\ \frac{d\varphi}{dt} = \omega \\ M_{\text{дв}} = \begin{cases} 0, & \text{если } \omega \leq 0 \\ M_{\text{пуск}}, & \text{если } \omega > 0 \end{cases} \end{array} \right. , \quad (1)$$

где  $J_{\Sigma}$  - суммарный момент инерции системы,  $M_{\text{дв}}$  - вращающий момент двигателя,  $M_{\text{деб}}$  - момент дебаланса,  $F_{\text{тр}}$  - момент сил сопротивления вращению,  $M_{\text{ст}}$  - статический момент дебаланса,  $\varphi$  - угол отклонения дебаланса от вертикали,  $K_{\text{тр}}$  - коэффициент сухого трения,  $\omega$  - угловая скорость дебаланса.

При соответствующем техническом обслуживании параметры вибропривода практически неизменны, что делает возможным рассчитать параметры запуска заранее, и в дальнейшем производить пуск без датчика направления вращения. Исходными данными для расчета процесса запуска являются: момент двигателя  $M_{\text{дв}}$ , статический момент дебалансов  $M_{\text{ст}}$ , суммарный момент инерции системы  $J_{\Sigma}$ , определяемые на основании экспериментов и паспортных данных двигателя. Полученные в результате моделирования значения времени и длительности подачи напряжения на двигатель используются в качестве уставок для разомкнутой системы управления процессом запуска вибромельницы.

В ходе исследования с целью поиска значений пусковых токов, минимизирующих тепловые потери, проведено многократное моделирование процесса запуска для асинхронного двигателя СИМО Y4001-6 мощностью 315 кВт и номинальным током 580 А. Значение статического момента дебаланса соответствует запуску без раскачивания при токе 2100 А. В результате получена зависимость, представленная на рисунке 3. Тепловые потери оценивались по отношению к потерям при токе 1800А действующем в течение 20 с.



Рисунок 3 – Зависимость тепловых потерь от пускового тока

Из анализа графика следует, что для заданного количества качаний существует значение тока, при котором тепловые потери минимальны. В ходе исследования также установлено, что минимум потерь обеспечивается определенным отношением момента двигателя к статическому моменту дебалансов, которое не зависит от периода собственных колебаний.

Работоспособность предложенного метода запуска подтверждена экспериментально, что позволяет рекомендовать его для внедрения в производство.

**Выводы.** Запуск дебалансного вибропривода путем раскачивания позволяет снизить пусковой ток в 1,3-1,7 раза по сравнению с прямым пуском.

При условии, что период колебания дебалансов и величина угла отклонения дебалансов в функции тока двигателя известны, запуск вибропривода путем раскачивания возможен без датчика угла поворота.

Для заданного количества качаний существует такое соотношение момента двигателя и статического момента дебалансов, которое обеспечивает минимум активных потерь при пуске, причем указанное соотношение не зависит от периода колебаний дебалансов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. – Москва: Машиностроение, 1970.
2. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов: Справочник / Под ред. В.А. Баумана, И.И. Быховского и Б.Г. Гольдштейна. – Москва: Машиностроение, 1970.
3. Горбунов, А. А. Математическое моделирование и исследование частотно-управляемого асинхронного вибрационного электропривода / А. А. Горбунов, В. Н. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2008. – № 1-2. – С. 119–122.
4. Автоматизированный электропривод: Справочник. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
5. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем – М.: Наука, 1971. – 894 с.