



И.И. Попов¹, В.А. Раков²

¹Курганский государственный университет,

²Вологодский государственный университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗ КОЛЕБАНИЙ РЕШЕТНЫХ СТАНОВ

В статье рассматривается вопрос снижения энергопотребления решетных станов за счет оптимизации фаз колебания отдельных решеток. Показано, что задача параметрической оптимизации заключается в отыскании (путем сравнения дискретных значений) среди элементов допустимого множества Z (сдвигов фаз колебаний решетных станов) такого элемента, который доставляет минимальное значение целевой функции, под которой понимается энергия, потребляемая из сети. Критерием поиска является «min». Оптимальный сдвиг фаз колебаний решетных станов равен $\pi/2$, что совпадает с результатом решения аналитической оптимизационной задачи. При этом целевая функция принимает минимальное значение.

Параметрическая оптимизация, фазы колебаний, целевая функция, критерий поиска.

Просеивание и сортировка по фракциям сыпучих строительных материалов и зерна в сельском хозяйстве осуществляется на специальных механизированных ситах – решетных станах. Как правило, в таких станах решетки располагаются в несколько рядов с увеличением размеров ячеек сверху вниз. В процессе работы решетки перемещаются в поперечном направлении, улучшая подвижность просеиваемых материалов (рис. 1). Амплитуда и частота колебаний решеток подбирается экспериментальным путем и зависит от свойств просеиваемых материалов. В условиях высокой производительности через решетки станом просеиваются сотни кубометров зерна или сыпучих материалов в сутки. В таких масштабах расходы энергии для привода станом будут значительны. Это приводит к необходимости оптимизации параметров их работы. Для этих целей производится подбор амплитуды и частоты колебания [1, 2], а также создание кинематически уравновешенных схем привода решет [3–6]. Существующие исследования направлены на обеспечение оптимальных конструктивных характеристик решетных станом, а также на снижение их энергопотребления. Ряд исследований направлен на оптимизацию конструкции машин за счет улучшения энергетических характеристик [7–9].



Рис. 1. Решетный стан комбайна «Нива»

Известно, что часть энергии привода станом расходуется на преодоление собственных сил инерции, вызванных движением массивных решет. Уравновешивание этих сил осуществляется грузами, противовесами, как показано в статье авторов Сычуговых [6]. Ранее также проводились исследования по динамическому уравновешиванию кинематических систем с двумя вращающимися грузами [10–13].

Для решения задачи уравновешивания решет предлагается обеспечивать оптимальное положение фазы колебаний за счет системного подхода, в котором схема колебаний решетных станом рассматривается как кинематическая система с дискретной обратной связью. В качестве целевой функции принята мощность привода станом.

Решение задачи представлено на примере зерноочистительной машины ОЗС-50, кинематическая схема которой (рис. 2) позволяет, не изменяя конструкцию эксцентриковых валов 3, обеспечить смещение фазы колебаний любой пары решетных станом 1 на некоторый угол ζ за счет относительного разворота эксцентриковых валов 3 [14–16]. Это выполняется при размыкании цепной передачи 4. При этом оба решетных стана верхней пары и оба решетных стана нижней пары продолжают работать в противофазе, что обеспечивает динамическую уравновешенность машины. Комплект измерительный К505 подключается к цепи питания электродвигателя 6.

Звездочки цепной передачи 4 имеют по 20 зубьев. Следовательно, поворот любой из них на один зуб поворачивает соответствующий эксцентриковый вал на 18 градусов ($\zeta = 2\pi/20$). Таким образом, измерения могут проводиться лишь для дискретных значений ζ с шагом дискретности 18 град. симметрично относительно значения $\zeta = \pi/2$.

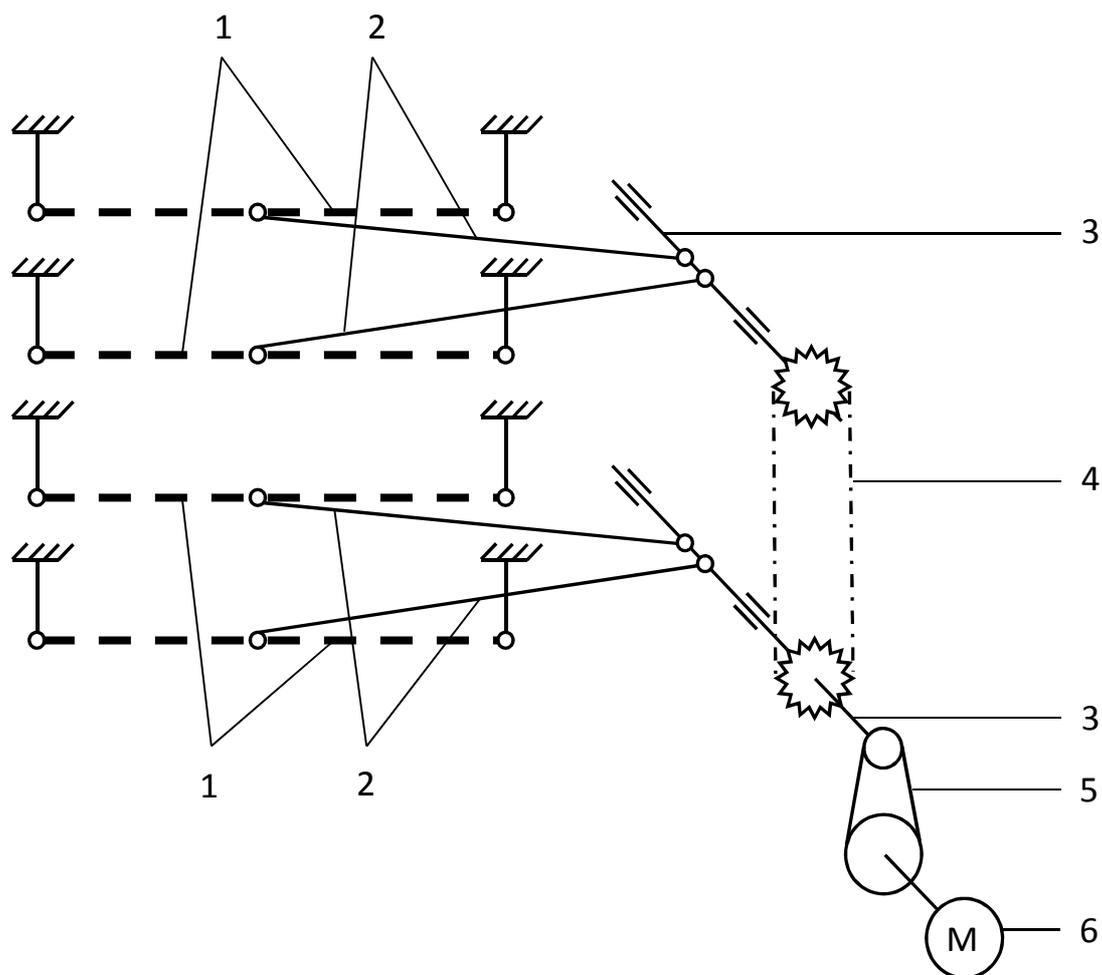


Рис. 2. Кинематическая схема привода решетных станов ОЗС-50:
 1 – решетные станы; 2 – шатуны; 3 – эксцентриковые валы;
 4 – цепная передача; 5 – клиноременная передача; 6 – электродвигатель

Для каждого конкретного значения ζ определяется полная мощность, потребляемая из сети.

Задача параметрической оптимизации заключается в отыскании (путем сравнения дискретных значений) среди элементов ζ допустимого множества Z (сдвигов фаз колебаний решетных станов $\zeta = \zeta_1 - \zeta_2$) такого элемента ζ^* , который доставляет минимальное значение $w(\zeta^*)$ целевой функции $w(\zeta)$, под которой понимается энергия, потребляемая из сети. Критерием поиска является «min».

Поскольку допустимое множество Z охватывает лишь часть возможных значений сдвига фаз колебаний, то оптимизация может считаться условной.

В соответствии с существующей классификацией использованный метод оптимизации является локальным, параметрическим, детерминированным, одно-

мерным, численным, комбинаторным, прямым, методом дискретного программирования.

Измеренные значения целевой функции $w(\zeta)$ (энергии, потребляемой из сети) для дискретных (с шагом дискретности 18 град.) значений элементов ζ допустимого множества Z (множество сдвигов фаз колебаний решетных станов $\zeta = \zeta_1 - \zeta_2$) приведены в таблице.

Таблица

Определение оптимального сдвига фаз колебаний решетных станов

ζ , град	54	72	90	108	126
$w(\zeta)$, Вт	978	692	375	684	965

График целевой функции $w(\zeta)$ представлен на рисунке 3.

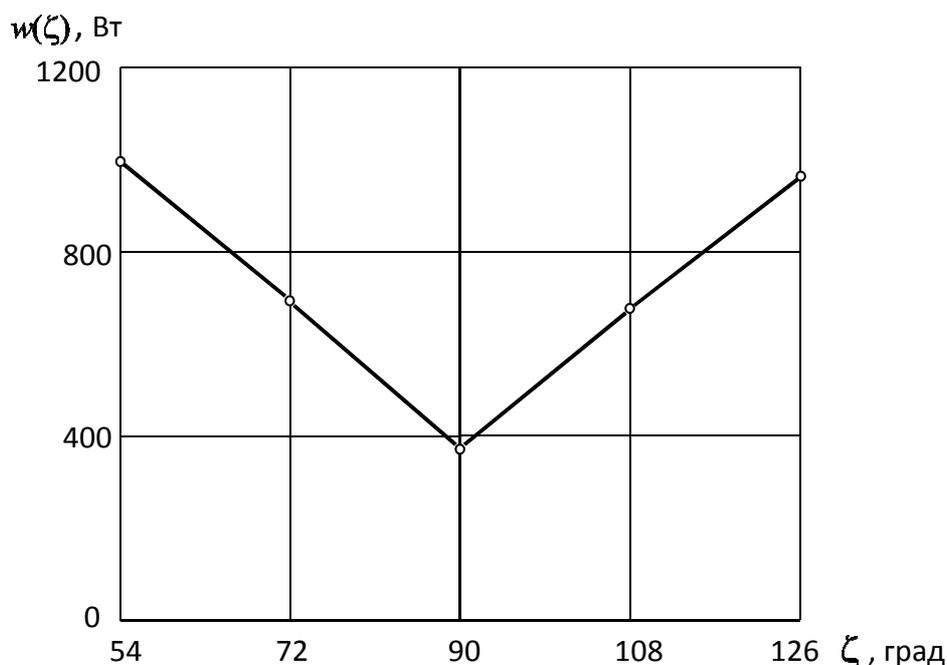


Рис. 3. График целевой функции $w(\zeta)$

Оптимальный сдвиг фаз колебаний решетных станов ζ равен $\pi/2$, что совпадает с результатом решения аналитической оптимизационной задачи. При этом целевая функция $w(\zeta)$ принимает минимальное значение 375 Вт.

Использование приведенной методики позволяет определить оптимальное смещение фаз колебаний решетчатых станов и минимизировать их энергопотребление за счет рациональной установки фаз. Дополнительно это способствует уменьшению нагрузок и снижает износ шарнирных соединений.

Литература

1. Шацкий, В. П. Теоретический анализ кинематических параметров решетных станов зерноочистительных машин / В. П. Шацкий, В. И. Оробинский, Д. Н. Афоничев [и др.] // Resources and Technology. – 2021. – Т. 18, № 2. – С. 18–31.
2. Шевцов, И. В. приводное устройство решетных станов зерноочистительных машин / И. В. Шевцов, В. А. Безносков // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 2(120). – С. 43–45.
3. Анализ работы плоского решета, совершающего колебания в горизонтальной плоскости / А. Ю. Головин, У. К. Сабиев, П. В. Чупин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 4. – С. 27–34.
4. Попов, И. П. Активная, реактивная и полная механические мощности решетного сепаратора / И. П. Попов, В. Ю. Левитский, С. С. Родионов, С. И. Родионова // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 2(30). – С. 70–73. – EDN AOFTEQ.
5. Анализ работы плоского решета, совершающего колебания в горизонтальной плоскости / А. Ю. Головин, У. К. Сабиев, П. В. Чупин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 4. – С. 27–34.

6. Сычугов, Н. П. Динамическое уравнивание решетных станов машины вторичной очистки зерна МВО-8Д / Н. П. Сычугов, Ю. В. Сычугов, А. Н. Сычугов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. – № 15. – С. 179–184.

7. Александров, И. К. Модернизация традиционной методики расчета фрикционных потерь в парах трения на основе экспериментальных исследований механических потерь в опорах валов / И. К. Александров, В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : Материалы пятой международной научно-технической конференции, Вологда, 25 ноября 2009 года. Том I. – Вологда : Вологодский государственный технический университет, 2009. – С. 21–25.

8. Александров, И. К. Исследование потерь в опорах валов на основе закона Амонтона – Кулона / И. К. Александров, В. А. Раков // Вестник машиностроения. – 2012. – № 4. – С. 3–6.

9. Патент № 2582494 С1 Российская Федерация, МПК G01L 3/00. Способ повышения энергетической эффективности механической передачи за счет оптимизации ее нагрузочного режима : № 2015109978/28 : заявл. 20.03.2015 : опубл. 27.04.2016 / И. К. Александров ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет» (ВоГУ).

10. Попов, И. П. Производительная мощность при сортировке сыпучих материалов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 1(7). – С. 70–72.

11. Попов, И. П. Инертная колебательная система из двух грузов для вибрационных механизмов /

И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 2(8). – С. 10–12.

12. Попов, И. П. Исследование вариантов и особенностей околорезонансных явлений в механических системах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 1(11). – С. 12–18.

13. Попов, И. П. Определение динамических свойств сыпучего материала / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 2(12). – С. 23–27.

14. Popov, I. P. Reducing the total power consumption of the grid separators in feed production /

I. P. Popov, V. G. Chumakov, S. F. Sukhanova // British journal of innovation in science and technology. – 2017. – Vol 2, № 2. – P. 15–20.

15. Energy efficiency assessment of sieve separation gear kinematic diagram / I. P. Popov, V. G. Chumakov, S. S. Rodionov [et al.] // British journal of innovation in science and technology. – 2017. – Vol 2, № 3. – P. 5–11.

16. Попов, И. П. Построение вибрационных сортировальных машин по схеме мультиинертного осциллятора / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 3(9). – С. 14–17.

I.P. Popov¹, V.A. Rakov²

¹Kurgan State University, ²Vologda State University

OPTIMIZATION OF SIEVE BOOTS VIBRATIONS PHASES

The article considers the issue of reducing the energy consumption of sieve boots by optimizing the oscillation phases of individual grates. It is shown that the problem of parametric optimization consists in finding (by comparing discrete values) among elements of an admissible set Z (shifts of oscillation phases of sieve boots) of an element that delivers the minimum value of the objective function, by which is meant the energy consumed from the network. The search criterion is "min". The optimal phase shift of oscillations of sieve boots is $\pi/2$, which coincides with the solution of the analytical optimization problem. In this case the objective function assumes a minimum value of 375 W.

Parametric optimization, phase oscillations, objective function, search criterion.