

УДК 621.01

Л.И. СЕРДЮК, С.С. ПЕСКОВОЙ

Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка

## О ВЛИЯНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ДИНАМИКУ ВИБРАЦИОННОЙ МАШИНЫ

© Сердюк Л.И., Песковой С.С., 2006

*Приводятся результаты экспериментальных исследований управляемой вибрационной машины с дебалансным вибровозбудителем при пуске, работе в уравновешенном состоянии и в установившемся колебательном режиме.*

*Показано влияние различных обрабатываемых сред одной массы на амплитуду, частоту и потребляемую мощность.*

*We can decide all problems mentioned above with creating of controllable vibroexciters.*

*They started and stopped with counterbalance rotated units. It sharply reduces necessary power of drive engine, eliminate all negative phenomena, that interlinks with intermediates resonances.*

*The results of controllable vibromachines on starting and established mode as well as influence on different processing elements on vibromachine dynamics are given in research.*

**Вибрационные технологические машины** с дебалансными вибровозбудителями, как правило, работают в зарезонансном режиме, что обусловлено требованиями виброизоляции рабочих мест операторов. Пуск и остановка вибровозбудителей сопровождаются переходом через промежуточные резонансы. При пуске таких вибровозбудителей возможно “зависание” приводного двигателя на частоте резонанса, его работа в трансформаторном режиме и быстрый выход из строя (известный эффект Зоммерфельда). При останове двигателя переход вибровозбудителя через резонанс приводит к резкому возрастанию амплитуды колебаний рабочего органа машины (в 10 и более раз по сравнению с установившимся режимом), что приводит к недопустимым деформациям упругих подвесок и конструктивных элементов машины и их поломке. Резкий срыв амплитуды при останове вызывает ударные действия на подшипники дебалансного вала, их существенный износ и сокращение сроков эксплуатации.

**Избежать переходов через резонанс** возможно только в одном случае, если пуск и останов вибровозбудителя производить в уравновешенном состоянии дебалансного вала вместе с дебалансами. Реализуя эту задачу, были созданы управляемые дебалансные вибромашины [1]. Принципиальная схема управляемого вибровозбудителя представлена на рис. 1.

На дебалансном валу 1 установлен один неподвижный относительно вала дебаланс 2 и два подвижных дебаланса 3, которые связаны с валом с помощью шаровых шпонок и винтовых канавок 4 на валу. Они могут перемещаться вдоль вала и поворачиваться относительно неподвижного дебаланса. Статический момент массы подвижного дебаланса равен половине статического момента неподвижного. При пуске и останове вибровозбудителя суммарный статический момент дебалансов равен нулю. Подвижные дебалансы занимают позицию 3' диаметрально противоположно неподвижному дебалансу 2. После пуска и выхода в режим с помощью механизма управления подвижные дебалансы перемещаются вдоль вала и поворачиваются относительно неподвижного. Суммарный статический момент возрастает от нуля до заданного значения, амплитуда колебаний изменяется от нуля до заданной величины. Заметим, что подвижные дебалансы могут поворачиваться относительно неподвижного в одном направлении или в противоположных. В первом случае генерируется вибрационное поле поступательной структуры, а во втором случае – винтовой структуры.

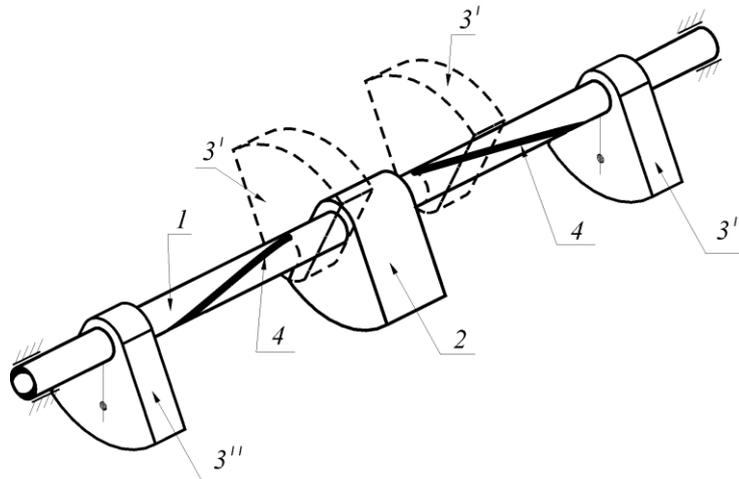


Рис. 1. Схема управляемого вибровозбудителя

Были разработаны разные конструкции управляемых вибровозбудителей, исследованы их динамические возможности, изготовлены в металле, созданы различные управляемые технологические вибрационные машины, проведены их экспериментальные исследования, позволившие выявить все основные особенности работы таких машин. Остановимся на результатах отдельных исследований.

В таблице приведены результаты экспериментальных исследований незагруженной вибрационной машины при пуске вибровозбудителя в уравновешенном состоянии, работе вибровозбудителя в уравновешенном состоянии и при работе машины с вибровозбудителем в крайнем неуравновешенном состоянии. В качестве приводного двигателя использовался трехфазный асинхронный двигатель мощностью 0,37 кВт, с числом оборотов холостого хода  $n_{x.x.} = 2976$  об/мин. Упругая подвеска рабочего органа машины обеспечивала его собственную частоту  $n_{рез} = 350$  кол/мин, что соответствует примерно 5,8 Гц.

Для экспериментов были изготовлены четыре вида дебалансов, максимальный статический момент которых равнялся:

$$S_1 = 8,681 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}; S_2 = 5,463 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}; S_3 = 2,248 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}; S_4 = 6,020 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

Исследования проводились на четырех частотах, обеспечивающих близкое значение вынуждающей силы

$$\Phi = S \cdot \omega^2. \quad (1)$$

Получить одинаковые значения силы  $\Phi$  практически невозможно, поскольку значения угловой скорости  $\omega$  вращения дебалансного вала вибровозбудителя зависит от нескольких параметров, изменяющихся при изменении на ходу значения статического момента дебалансов.

Поскольку фазная мощность асинхронного электродвигателя пропорциональна (при прочих равных условиях) квадрату силы тока, а ток, в свою очередь, пропорционален величине фазного напряжения, имеется возможность менять в экспериментах мощность приводного двигателя в довольно широких пределах путем изменения напряжения на зажимах двигателя. В экспериментах напряжение принималось 220 В, 180 В, 150 В и 100 В, что соответствует мощности двигателя 370 Вт, 248 Вт, 172 Вт и 78 Вт.

Из таблицы видно, что с увеличением угловой скорости вращения дебалансов и уменьшением их статического момента потребляемая мощность при пуске в уравновешенном состоянии уменьшается. В то же время при работе в уравновешенном состоянии потребляемая мощность возрастает. Эта тенденция сохраняется и при работе машины в установившемся колебательном режиме.

## Результаты экспериментов

| № п/п | Режим работы вибро-возбудителя | Статический момент дебалансов $5 \times 10^{-2}$ кгм | Угловая скорость дебалансного вала, п об/мин | Сила тока I, амп | Фазное напр. U, вольт | Фазн. мощн. N, ватт | $\cos \varphi$ | Время пуска, с | $\frac{\Phi_i}{\Phi_1}$ | $\frac{n_g}{n_b}$ | Мощн. двиг., Ватт |
|-------|--------------------------------|--|--|------------------|-----------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| 1     | 2                              | 3  | 4  | 5                | 6                     | 7                   | 8              | 9              | 10                      | 11                | 12                |
| 5     | Пуск – а                       | 0  | 0–795  | 2,65             | 150                   | 388                 | 0,97           | 4,3            | –                       |                   | 172               |
|       | Вращ – б                       | 0  | 795  | 0,38             |                       | 38                  | 0,67           | –              | –                       |                   |                   |
|       | Колеб – в                      | 86,81  | 767  | 0,58             |                       | 72                  | 0,83           | –              | 1,00                    | 0,96              |                   |
| 6     | Пуск – а                       | 0  | 0–987  | 2,68             |                       | 380                 | 0,94           | 4,4            | –                       |                   |                   |
|       | Вращ – б                       | 0  | 987  | 0,41             |                       | 44                  | 0,72           | –              | –                       |                   |                   |
|       | Колеб – в                      | 54,63  | 962  | 0,52             |                       | 65                  | 0,83           | –              | 0,99                    | 0,97              |                   |
| 7     | Пуск – а                       | 0  | 0–1450                                       | 2,37             |                       | 345                 | 0,97           | 4,2            | –                       |                   |                   |
|       | Вращ – б                       | 0  | 1450   | 0,45             |                       | 53                  | 0,78           | –              | –                       |                   |                   |
|       | Колеб – в                      | 22,48  | 1386   | 0,58             |                       | 76                  | 0,87           | –              | 0,85                    | 0,96              |                   |
| 8     | Пуск – а                       | 0  | 0–2778                                       | 2,77             |                       | 341                 | 0,82           | 3,0            | –                       |                   |                   |
|       | Вращ – б                       | 0  | 2778   | 0,53             |                       | 67                  | 0,84           | –              | –                       |                   |                   |
|       | Колеб – в                      | 6,02   | 2605   | 0,78             |                       | 108                 | 0,92           | –              | 0,81                    | 0,94              |                   |
| 13    | Пуск – а                       | 0  | 0–819  | 3,60             | 220                   | 710                 | 0,90           | 2,0            | –                       |                   | 370               |
|       | Вращ – б                       | 0  | 819  | 0,58             |                       | 50                  | 0,39           | –              | –                       |                   |                   |
|       | Колеб – в                      | 86,81  | 802  | 0,68             |                       | 90                  | 0,60           | –              | 1,00                    | 0,98              |                   |
| 14    | Пуск – а                       | 0  | 0–1008                                       | 3,60             |                       | 690                 | 0,87           | 2,0            | –                       |                   |                   |
|       | Вращ – б                       | 0  | 1008   | 0,60             |                       | 60                  | 0,45           | –              | –                       |                   |                   |
|       | Колеб – в                      | 54,63  | 992  | 0,68             |                       | 93                  | 0,62           | –              | 0,97                    | 0,98              |                   |
| 15    | Пуск – а                       | 0  | 0–1487                                       | 2,87             |                       | 526                 | 0,83           | 1,2            | –                       |                   |                   |
|       | Вращ – б                       | 0  | 1487   | 0,61             |                       | 73                  | 0,55           | –              | –                       |                   |                   |
|       | Колеб – в                      | 22,48  | 1459   | 0,68             |                       | 98                  | 0,65           | –              | 0,86                    | 0,98              |                   |
| 16    | Пуск – а                       | 0  | 0–2865                                       | 2,64             |                       | 487                 | 0,82           | 1,4            | –                       |                   |                   |
|       | Вращ – б                       | 0  | 2865   | 0,66             |                       | 88                  | 0,61           | –              | –                       |                   |                   |
|       | Колеб – в                      | 6,02   | 2727   | 0,77             |                       | 128                 | 0,75           | –              | 0,81                    | 0,95              |                   |

Последнее обстоятельство вступает в противоречие с существующими представлениями об энергетике колебаний. Согласно И.И. Быховскому [2], максимальное значение средней за период мощности при вибрациях определяется

$$N_{cp}^{\max} = \frac{\Phi^2 \omega}{4m (\omega^2 - \omega_0^2)}. \quad (2)$$

Принимая массу колеблющихся частей  $m = \Phi/g$ , получим зависимость, позволяющую определить тенденцию изменения  $N_{cp}^{\max}$  при изменении  $\omega$

$$N_{cp}^{\max} = \frac{\Phi \cdot g \cdot \omega}{4 (\omega^2 - \omega_0^2)}. \quad (3)$$

Легко видеть, что с увеличением  $\omega$  величина  $N_{cp}^{\max}$  уменьшается. Для значений  $\Phi$ ,  $\omega$ ,  $\omega_0$ , соответствующим опытом 13-16 таблицы 1 величина максимума средней мощности по (3) составит:  $N_{13} = 223,5 \text{ Вт}$ ,  $N_{14} = 159,2 \text{ Вт}$ ,  $N_{15} = 89,5 \text{ Вт}$ ,  $N_{16} = 42,9 \text{ Вт}$ . В это же время фактическое значение потребляемой мощности, вычисленное как утроенное значение фазной мощности, будет таким:  $N_{13} = 270 \text{ Вт}$ ,  $N_{14} = 279 \text{ Вт}$ ,  $N_{15} = 294 \text{ Вт}$ ,  $N_{16} = 384 \text{ Вт}$ .

Как видим, ни абсолютные значения, ни тенденция изменения мощности, определяемой по (3), не соответствует действительному положению дел. Это необходимо иметь в виду, поскольку

указанные рекомендации по расчету мощности приводных двигателей вибромашин приведены в официальных документах.

В приведенных экспериментах обрабатываемая среда отсутствовала, и ее влияние на динамику вибровозбудителя не сказывалось. Специальные исследования влияния свойств обрабатываемой среды на мощность, потребляемую приводным двигателем, ранее не проводилось. Разные авторы, попутно исследуя потребляемую мощность, приходили к противоречивым выводам. Поэтому представляют интерес результаты, полученные на одной установке в одинаковых условиях с различными обрабатываемыми средами.

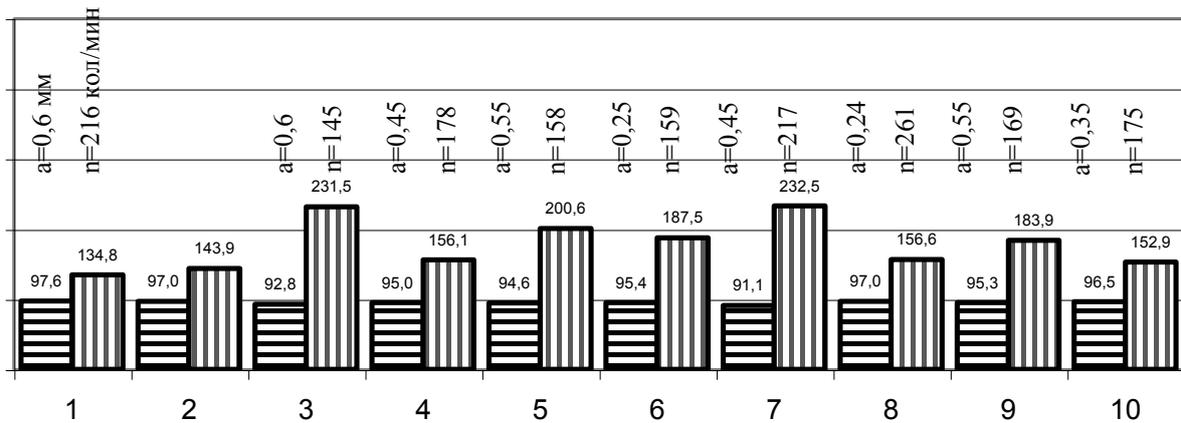
В качестве рабочих сред были выбраны: вода, сухой песок, сухой щебень, щебень с водой и кирпич. Масса среды во всех экспериментах составляла 100 кг, в случае щебня с водой масса щебня равнялась 82 кг, а масса воды – 18 кг. Контейнер, в котором обрабатывались различные среды, представлял собой прямоугольную в плане емкость 0,6×0,6 м и высотой 0,5 м. Исследования проводились при двух состояниях обрабатываемой среды. В первом случае верхняя поверхность среды была свободной, во втором – было ограничение в виде щита, препятствующего разрыхлению среды. Всякое внешнее давление на щит (пригруз) отсутствовало.

Использовались те же режимы работы вибровозбудителя, что и в опытах, приведенных в таблице. Пуск вибровозбудителя производился при уравновешенных дебалансах. После выхода приводного двигателя в режим с помощью механизма управления подвижными дебалансами их переводили в крайнее неуравновешенное состояние. Амплитуда колебаний изменялась от нуля до заданного значения. При этом измерялись напряжение, сила тока и мощность, потребляемые приводным двигателем, а также угловая скорость вращения дебалансного вала.

Некоторые результаты этих экспериментов приведены на рис. 2. За 100 % принимали значение мощности при вращении дебалансного вала в уравновешенном состоянии и значение угловой скорости вращения дебалансного вала. На диаграммах приведены в процентах значения угловой скорости и потребляемой мощности при работе вибрационной установки в установившемся колебательном режиме при двух значениях частот колебаний (2850 кол/мин и 800 кол/мин) и двух значениях статического момента дебалансов ( $6,02 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}$  и  $86,81 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}$ ).

Из приведенных диаграмм видно, что различные среды по-разному влияют на динамику вибрационной машины. Одна и та же масса обрабатываемой среды оказывает разное влияние на потребляемую мощность приводного двигателя, на падение частоты колебаний, на величину амплитуды колебаний рабочего органа и даже на величину собственной частоты колебаний. Заметим, что при почти одинаковой вынуждающей силе, но сформированной по (1) разными значениями статических моментов массы дебалансов  $S$  и частотой  $\omega$ , результаты экспериментов оказываются существенно различными. Особенно отчетливо это видно на потребляемой мощности и амплитуде колебаний. Так, при частоте  $n = 2850$  кол/мин и  $S = 6,02 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}$  наибольшее потребление мощности приводным двигателем наблюдается при обработке песка, щебня и щебня с водой в незакрепленном состоянии (231,9; 200,6 и 232,5 %). При этом падение частоты колебаний составляло 7,2; 5,4 и 8,9 % соответственно. При частоте 800 кол/мин и статическом моменте дебалансов  $S = 86,81 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}$  наибольшее потребление мощности, как и прежде для песка и щебня, а также для кирпичей в незакрепленном состоянии (401,6; 470,8 и 400,7 %), а падение частоты составляет 8,9; 12,9 и 8,2 % соответственно. Закрепление обрабатываемой среды в виде ограничения ее свободной поверхности щитом без пригруза приводит к снижению потребляемой мощности и уменьшению падения частоты колебаний. Это более выражено при частоте 800 кол/мин, что объясняется значительно большей (почти на порядок) амплитудой колебаний по сравнению с частотой 2850 кол/мин.

$$S = 6,02 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}; \omega_0 = 2850 \text{ кол/мин}$$



$$S = 86,81 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}; \omega_0 = 800 \text{ кол/мин}$$

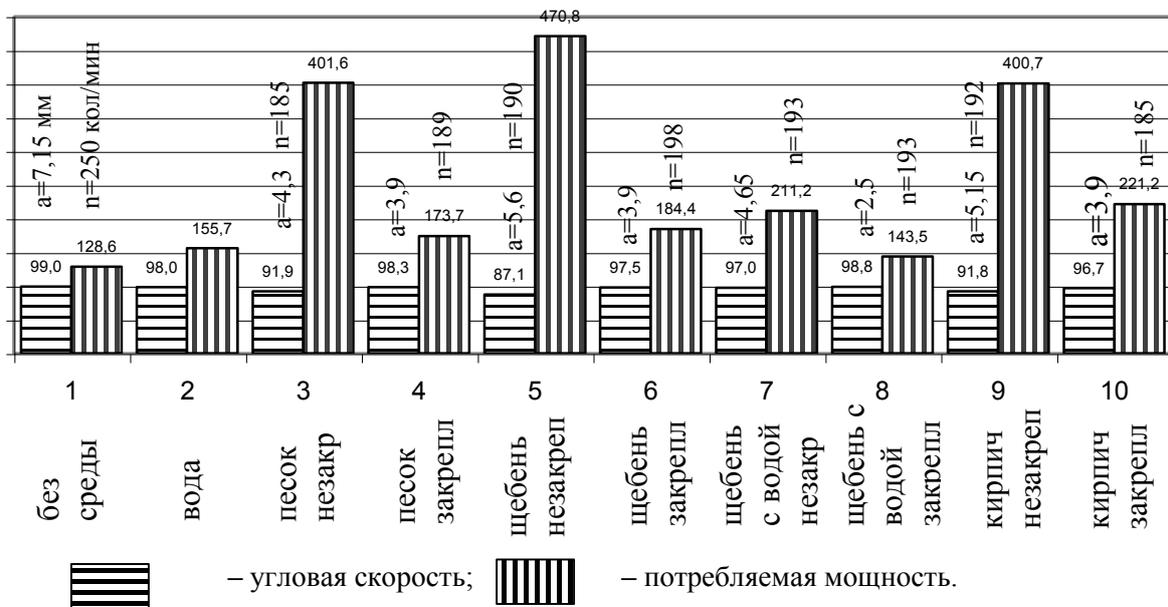


Рис. 2. Влияние обрабатываемой среды на динамику машины

Из сказанного можно сделать вывод об очень сложном характере влияния свойств обрабатываемых сред и технологических параметров на динамику вибрационной машины, что вызывает необходимость более детально изучить рассматриваемую проблему и получить теоретические рекомендации для расчета и конструирования технологических вибрационных машин.

1. Сердюк, Л.И. Основы теории, расчет и конструирование управляемых вибрационных машин с дебалансными возбудителями: Дис. ...д-ра техн. наук. – Харьков, 1991. – 300 с. 2. Вибрации в технике.: Справочник. Т. 4 / Под общ. ред. В.Н. Челомея. – М.: Машиностроение, 1978. – 320 с.