

УДК 676.004.86

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЗАСОРЕНИЯ СИТ ПИТАТЕЛЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ВАРОЧНОГО КОТЛА

© *В.П. Сиваков, д-р техн. наук, декан*

В.И. Музыкантова, вед. инж.

Ю.М. Гребенщиков, асп.

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: djguran@mail.ru

Цель работы – определение периодичности технологической очистки сит питателя по изменению виброскорости насоса высокого давления и загрузочного устройства котла в процессе подконтрольной эксплуатации. В питателе высокого давления проводится отбор щелока низкого давления из суспензии щепы–щелок до гидромодуля $4...7 \text{ дм}^3/\text{кг}$, подача щелока высокого давления с разбавлением суспензии до гидромодуля $25...35 \text{ дм}^3/\text{кг}$ и выгрузка суспензии. Исследовано влияние засорения сит на нагрузку приводов насоса высокого давления и загрузочного устройства варочного котла, а также на вибрацию технологического оборудования. При засорении сит снижается отбор щелока. Выгрузка суспензии в загрузочную циркуляцию происходит с гидромодулем более $35 \text{ дм}^3/\text{кг}$. Повышенное содержание жидкости в суспензии снижает потери на трение при ее транспортировании и, следовательно, на нагрузку приводов и вибрацию оборудования. Очистка сит от засорений увеличивает заполнение карманов ротора щепой, снижает гидромодуль при выгрузке суспензии, что увеличивает потери на трение при транспортировании суспензии, нагрузку на приводы и вибрацию оборудования. Процесс засорения и самоочистки сит питателя носит случайный характер. Аналогично засорению и очистке сит изменяется нагрузка приводов и вибрация оборудования загрузочной циркуляции. Показано, что по цикличности изменения нагрузки приводов или вибрации оборудования можно установить периодичность технологической очистки сит. На входе в тракт загрузочной циркуляции измерялась виброскорость насоса высокого давления, на выходе – виброскорость загрузочного устройства. Методами математической статистики установлены границы спектра частот проявления цикличности режима засорения и самоочистки сит, определены корреляционные функции и выявлена линейная корреляционная связь виброскорости на входе и выходе тракта загрузочной циркуляции. Установлено, что изменение виброскорости оборудования на входе и выходе из тракта загрузки удовлетворяет условиям стационарности. По автокорреляционным функциям виброскорости оборудования выделены из массива случайных сигналов одинаковые периодические составляющие на входе и выходе тракта загрузочной циркуляции. В результате исследования спектральной плотности стационарного случайного процесса изменения виброскорости тракта загрузочной циркуляции установлена преобладающая частота засорения сит. Обоснована периодичность технологической промывки сит.

Ключевые слова: варочный котел, питатель высокого давления, сито, диагностирование, вибрация, засорение, промывка.

В тракт загрузочной циркуляции поступает суспензия из щепы и щелока с гидромодулем $25...35 \text{ дм}^3/\text{кг}$. При эксплуатации тракта (рис. 1) происходит постоянное изменение гидромодуля

суспензии. На изменения гидромодуля влияет много факторов. Наиболее значимым из них является степень засоренности сит питателя высокого давления.

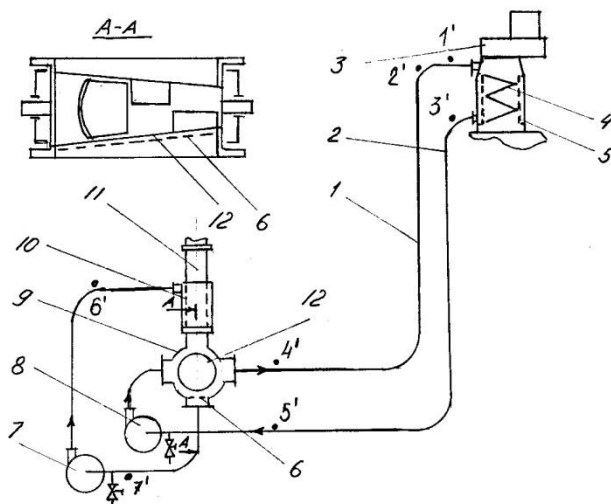


Рис. 1. Схема тракта загрузочной циркуляции ВК: 1, 2 – трубопроводы загрузочной и возвратной циркуляции; 3 – привод; 4 – винт; 5 – сетчатый цилиндр; 6 – сито питателя; 7 – насос низкого давления; 8 – насос высокого давления; 9 – питатель высокого давления; 10 – шлицевое сито; 11 – питательная труба; 12 – ротор; т. 1' ... т. 7' – места установки вибропреобразователей

В технологическом аспекте изменение гидромодуля суспензии влияет на объем загружаемой в варочный котел технологической щепы и, следовательно, на выход целлюлозы. В эксплуатационном аспекте изменение гидромодуля суспензии влияет на потребляемую мощность приводных устройств тракта загрузочной циркуляции, а также на вибрацию технологического оборудования.

Рассмотрим влияние засорения сит на эксплуатационный режим работы тракта загрузочной циркуляции. При засорении сит питателя снижается отбор щелока из загружаемого канала ротора. В загруженном канале с технологической щепой остается много щелока низкого давления. При вымывании технологической щепы из этого канала щелок высокого давления смешивается со щелоком низкого давления, что приводит к повышению гидромодуля суспензии. Повышенное содержание жидкой фазы в суспензии снижает потери на трение при технологических операциях и транспортировании. Нагрузка приводов насоса высокого давления и загрузочного устройства и, следовательно, вибрация снижаются.

После очистки сит щелок низкого давления отбирается из загрузочного канала с минимальным сопротивлением. Каналы ротора при загрузке почти полностью заполняются технологической щепой. Гидромодуль суспензии снижается, нагрузка приводов на преодоление трения при транспортировании суспензии увеличивается, что приводит к возрастанию вибрации оборудования.

Цикличность засорения и самоочистки сит питателя носит случайный характер. Она зависит от содержания смолы и мелкой фракции в технологической щепе, присадки ротора в корпусе и других факторов. Длительная работа тракта загрузочной циркуляции с засоренными ситами

нежелательна, так как снижается производительность установки варки целлюлозы. Засорение сит косвенно проявляется в периодических изменениях нагрузки приводов и вибрации оборудования.

Изменение нагрузки приводов и вибрации оборудования на входе и выходе тракта загрузочной циркуляции имеет однотипную ориентацию. Например, при снижении нагрузки привода насоса высокого давления, как правило, отмечается снижение нагрузки привода загрузочного устройства. Определив характер связи нагрузки или вибрации приводных устройств на входе и выходе тракта загрузочной циркуляции, а также частоты циклических изменений нагрузки или вибрации, можно обосновать периодичность очистки сит.

Спектр частот циклических изменений вибрации оборудования тракта загрузочной циркуляции определяли статистическими методами по экспериментальным данным.

На входе в тракт загрузочной циркуляции измеряли виброскорость $V_{вх}$ насоса высокого давления, на выходе – виброскорость $V_{вых}$ загрузочного устройства.

Интервал реализации [1] экспериментальных значений виброскорости

$$\Delta t \leq \pi / \omega_{в},$$

где $\omega_{в}$ – высокочастотная граница спектра.

Для тракта загрузочной циркуляции $\omega_{в} = 0,005 \text{ мин}^{-1}$ (из опыта эксплуатации), тогда $\Delta t \leq 10 \text{ ч}$. Принимаем $\Delta t = 4 \text{ ч}$.

Длительность T реализации режима транспортирования суспензии как стационарного случайного процесса определялась уровнем сигналов на входе и выхода и требуемой точностью процесса во времени:

$$T \geq 50/\omega_{н},$$

где $\omega_{н}$ – нижняя граница спектра частот проявления цикличности режима транспортирования суспензии.

При $\omega_{н} = 0,0005 \text{ мин}^{-1}$ имеем $T \geq 1660 \text{ ч}$. Максимальное значение времени, для которого рассчитывались корреляционные функции, принимаем в зависимости от T . Рекомендуется [1] $\tau_{\max} = 0,1 T$, тогда $\tau_{\max} = 166 \text{ ч}$.

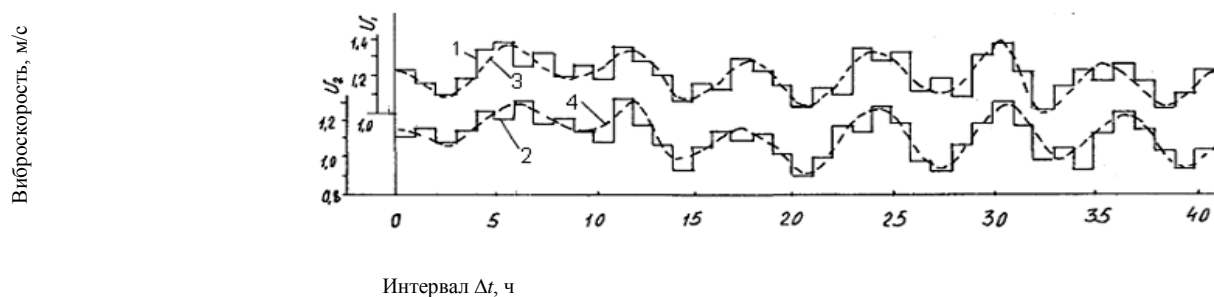


Рис. 2. Фрагменты изменения виброскорости (1, 2) и аппроксимированный график виброскорости насоса (3, 4): 1, 3 – насос высокого давления; 2, 4 – загрузочное устройство

Виброскорость V измеряли во время исправной работы тракта загрузочной циркуляции установки непрерывной варки целлюлозы производительностью 320 т/сут. Периодичность отсчета V для насоса высокого давления и загрузочного устройства составляла 4 ч (рис. 2). Гистограмма экспериментального распределения для измеренных массивов V проверена на соответствие нормальному закону.

Линейность связи параметров входа x и выхода y проверяли по коэффициенту корреляции [1]:

$$r = M_{xy} / (D_x D_y),$$

где M_{xy} – среднее арифметическое произведение отклонений параметра на входе и выходе от их центров;

D_x, D_y – среднее квадратическое отклонение параметров на входе и выходе.

Среднее арифметическое произведение отклонений измеряемого параметра

$$M_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)(y_i - M_y),$$

где n – число пар измеренных значений наблюдаемых параметров;

x_i, y_i – текущее значение параметра на входе и выходе;

M_x, M_y – средние выборочные значения параметра на входе и выходе.

Расчетные статистические характеристики виброскорости оборудования тракта загрузочной циркуляции [3] приведены в таблице.

Оборудование	Среднее арифметическое M	Среднее квадратическое отклонение D	Коэффициент корреляции r
Насос высокого давления	1,190	0,102	0,7254
Загрузочное устройство	1,120	0,100	

Из таблицы видно, что коэффициент корреляции параметров между входом и выходом $r > 0,5$.

При $0,5 \leq r < 1,0$ между исследуемыми параметрами имеется линейная корреляционная связь [2].

Изменение виброскорости контролируемого оборудования тракта загрузочной циркуляции во времени можно рассматривать как случайный процесс, характеризующийся нормальным законом распределения. Исследуемые случайные процессы изменения виброскорости проверяли на стационарность. Случайные процессы можно рассматривать как стационарные, если вероятностные характеристики (M, D) остаются постоянными при замене времени начала отсчета t_0 на $(t_0 + \Delta t_i)$, где Δt_i – произвольный сдвиг начала времени отсчета. В эксперименте при произвольном Δt_i в пределах длительности реализации T и при числе измеренных значений $n = 41$ статистические характеристики (M, D) практически не изменяются. Например, для вибрации насоса высокого давления получены следующее: $M = 1,17 \dots 1,21$; $D = 0,097 \dots 0,104$.

Следовательно, случайные процессы изменения контролируемых параметров оборудования на входе и выходе тракта загрузочной циркуляции можно рассматривать как стационарные. Для случайного стационарного процесса закон распределения один и тот же в каждый момент

времени, т. е. плотность вероятности не зависит от времени. Это свойство распределения случайного стационарного процесса использовали при определении периодичности засорения сит на основе исследования автокорреляционных функций.

Автокорреляционные функции на входе и выходе оборудования тракта загрузочной циркуляции определяли по следующим формулам:

$$R_{xx}(\tau) = \frac{1}{n-\tau} \sum_{j=1}^{n-\tau} x_j x_{j-\tau}; \quad R_{yy}(\tau) = \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{n-\tau} y_i y_{i-\tau},$$

где n – число наблюдаемых значений параметра;

$\tau = k \Delta t$ – корреляционный сдвиг;

k – цифровой коэффициент;

Δt – интервал между измерениями переменной величины;

x_j, y_i – фиксированные по Δt значения j - и i -го параметров.

Графики функций $R_{xx}(\tau)$, $R_{yy}(\tau)$, рассчитанные для виброскорости, приведены на рис. 3.

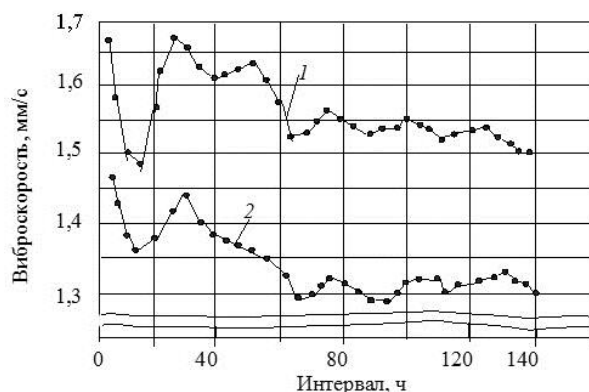


Рис. 3. Графики автокорреляционных функций виброскорости: 1 – насос высокого давления;
2 – загрузочное устройство

Автокорреляционные и корреляционные функции обладают свойством выделять из случайного исходного процесса постоянную и периодические составляющие. Поэтому, если исходный массив случайных сигналов контролируемой величины содержит постоянную или периодическую составляющие, то и корреляционные функции содержат те же составляющие с тем же периодом для периодической составляющей. Например, на графиках автокорреляционных функций виброскорости оборудования на входе и выходе тракта выделяются периоды $(5 \dots 7)\Delta t$. Отметим, что автокорреляционные и корреляционные функции только выделяют периодическую составляющую, но не содержат никакой информации о ее фазе.

Диагностирование периодичности очистки сит по изложенной методике можно применить для контроля технического состояния сит систем циркуляции варочных растворов котлов периодической и непрерывной варки целлюлозы.

Наличие одинаковых периодических составляющих на графиках корреляционных функций отражает стационарность изменения параметров виброскорости. В связи с проявлением стационарности случайного процесса спектральные плотности определяли только для автокорреляционных функций входа. Для этого автокорреляционные функции $R_{xx}(\tau)$ нормировали:

$$\rho_{xx} = R_{xx}(\tau)/D(x); \quad \rho_{yy} = R_{yy}(\tau)/D(y).$$

Уравнения нормировки:

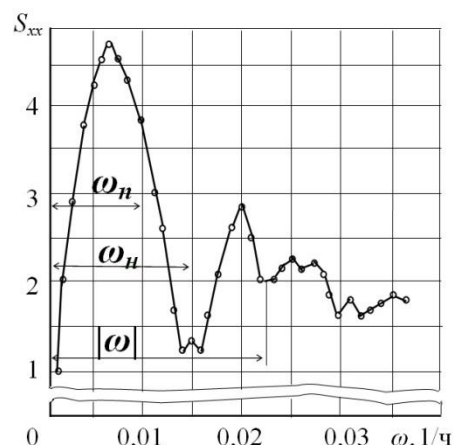
$$D(x) = \sum_{j=1}^n x_j^2 / n; \quad D(y) = \sum_{j=1}^n y_j^2 / n.$$

Спектральную плотность $S_{xx}(\omega)$ стационарного случайного процесса (рис. 4) с учетом аппроксимации определяли по формуле

$$S_{xx}(\omega) = \sum_{j=1}^n \left(1 - \frac{j}{n}\right) \rho_{xx} \cos(\omega_j),$$

где ω_j – частота в диапазоне от ω_n до ω_b .

Рис. 4. Спектральная плотность виброскорости, характеризующая засорение сит: $|\omega|$, ω_n , ω_n – допустимая, неудовлетворительная и предотказная частота промывки сит



Из рис. 4 следует, что засорение сит происходит с преобладающей частотой $0,015 \text{ ч}^{-1}$ и периодичностью 2,8 сут.

Таким образом, по изменению виброскорости оборудования можно диагностировать засорение сит питателя высокого давления и обосновать периодичность промывки сит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачев В.В., Щербаков С.Г., Яковлев Е.И. Динамика трубопроводных систем. М.: Наука, 1987. 438 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 831 с.
3. Сиваков В.П. Диагностирование сита питателя высокого давления варочного котла // Вибрация. Шум. Вибродиагностика: материалы межгос. науч.-техн. семинара «Виброакустические процессы в технологиях, оборудовании и сооружениях лесопромышленного комплекса». Екатеринбург: Уральск. лесотехн. акад.,

2000.
С. 139.

Поступила 13.04.13

UDC 676.004.86

Diagnosing of a Sieve Choking of the High-Pressure Feeder of a Digester

V.P. Sivakov, Doctor of Engineering

V.I. Muzykantova, Senior Engineer

Yu.M. Grebenshchikov, Postgraduate Student

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100,

Russia; e-mail: djguran@mail.ru

The purpose of the paper is to define the frequency of the technological sieves cleaning of a feeder in dependence on vibration speed of a high-pressure pump and loading device of digester in the controlled exploitation. In a high-pressure feeder the low-pressure waste-liquor bleeding is executed out of suspension "chip – waste liquor" up to hydromodulus 4 ... 7 dm³/kg, feeding of high-pressure waste-liquor with suspension dilution up to hydromodulus 25 ... 35 dm³/kg and unloading of suspension. The influence of a sieve choking upon a load of drives of the high-pressure pump and a loading device of digester as well as the vibration of the process equipment is studied. At sieve choking the waste-liquor bleeding is reducing. The unload of suspension into the hydraulic circulation occurs with a hydromodulus more than 35 dm³/kg. Elevated level of liquid in the suspension reduces the friction losses at its transportation as well as drive loads and equipment vibration. Cloth cleaning forces a filling of the rotor trays by chip, reduces hydromodulus at unload of the suspension, that increases the friction losses at its transportation as well as drive loads and equipment vibration. Process of a sieve choking and screen self-cleaning of a feeder is random. Drive loads and vibration of the loading equipment circulation change also. It is shown that the cycling change of the load of drives or equipment vibration can set the frequency of technological cleaning of sieves. At the entrance of the section of loading circulation a vibration velocity of a high-pressure pump was measured as well as a vibration velocity of the loading device at the output. Methods of mathematical statistics established the spectrum borders of frequency of a process of a sieve choking and self-cleaning cyclicity, correlation functions, linear correlation connection of a vibration velocity at the entrance and output of a section of the loading circulation. Changing of a vibration velocity corresponds to the conditions of stationarity. The same periodical components at the input and output of the section of loading circulation according to the autocorrelation functions of the equipment vibration velocity are installed. As a result of research of the spectral density of a stationary random process of vibration velocity changing of a section of loading circulation the dominant frequency of a sieve choking is established. The frequency of technological sieve cleaning is established.

Keywords: digester, high-pressure feeder, sieve, diagnosis, vibration, choking, cleaning.

REFERENCES

1. Grachev V.V., Shcherbakov S.G., Yakovlev E.I. *Dinamika trubo-provodnyh sistem* [Dynamics of Pipeline Systems]. Moscow, 1987. 438 p.
2. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov* [Handbook on Mathematics for Scientists and Engineers]. Moscow, 1984. 831 p.
3. Sivakov V.P. Diagnostirovanie sita pitatelja vysokogo davlenija varochnogo kotla [Diagnosing of Sieve of High Pressure Feeder of Digester]. *Vibracija. Shum. Vibrodiagnostika* [Vibration. Noise. Vibrodiagnostics: Proc. Int. Sci. and Tech. Seminar «Vibro-Acoustic Processes in Technologies, Equipment and Constructions of Timber Industry Complex»]. Yekaterinburg, 2000, p. 139.

Received on April 13, 2013
