

**В.Н. Тихенко, д-р техн. наук,  
А.А. Волков**

Одесский национальный политехнический университет

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ГИДРОПРИВОДА СТОЛА ОТДЕЛОЧНО-РАСТОЧНОГО СТАНКА**

*На основі проведених досліджень визначено умови, які дозволяють підвищити рівномірність та стабільність швидкості подачі стола обробно-різочувальних верстатів.*

*Based on experimental researches being realized there were determined conditions of uniformity and stability of the feed rate of the table fine-boring machine tools.*

### **Введение**

В прецизионных отделочно-расточных станках для возвратно-поступательных движений подачи традиционно используется гидропривод с дроссельным регулированием скорости.

Компоновка станков обычно соответствует агрегатно-модульному принципу с горизонтальным, вертикальным или наклонным расположением оси шпиндельных головок и, соответственно, направляющих подвижных узлов.

Обработка осуществляется как по одностороннему циклу с рабочей подачей в одном направлении (быстрый подвод, одна или две рабочих подачи, реверс, быстрый отвод, стоп), так и при двухстороннем цикле, когда рабочие подачи осуществляются в обоих направлениях движения.

К приводам подачи отделочно-расточных станков предъявляются весьма высокие требования к стабильности подачи и равномерности перемещения стола на всей длине рабочего хода в заданном диапазоне подач.

В связи с этим актуальной является задача повышения равномерности движения гидропривода подач стола при тонком растачивании.

Неравномерность перемещений столов отделочно-расточных станков может проявляться в виде релаксационных или гармонических автоколебаний скорости, которые порождаются, в частности, дефектами изготовления и сборки рабочих органов (столов), либо недостаточной смазкой их направляющих [1].

К числу дефектов изготовления и сборки узлов подачи стола, влияющих на равномерность их движения, относятся:

- непараллельность оси гидроцилиндра направляющим,
- перекос направляющей втулки штока гидроцилиндра,
- перекос опорной поверхности кронштейна для крепления штока к элементам стола;
- непрямолинейность перемещения стола в горизонтальной и вертикальной плоскостях,

- перекос рабочей поверхности стола при его перемещении,
- неравномерная или чрезмерная затяжка планок или клиньев направляющих,
- наличие задиров или чрезмерной шероховатости и волнистости поверхности направляющих,
- неравномерное распределение нагрузки на гранях направляющих.

Среди причин появления релаксационных колебаний также следует отметить наличие «падающей» скоростной зависимости сил трения в направляющих рабочего органа, возникновение гистерезисной характеристики сил трения по предварительному смещению, а также сжимаемость масла в рабочих полостях гидроцилиндра и трубопроводах [2].

### **Изложение основного материала**

На графиках движения стола неравномерность может быть представлена в виде «скачков» при перемещении с периодическими остановками (рисунок 1а), или в виде автоколебаний скорости относительно ее установленного значения (рисунок 1б). При растачивании в таких условиях уменьшается точность и класс чистоты обработанных поверхностей деталей, а также снижается стойкость режущих инструментов. Кроме того, при малых скоростях сложно или невозможно обеспечить позиционирование рабочего органа в заданном положении.

При малых скоростях и ограниченной жесткости привода возможна потеря устойчивости, когда вместо непрерывного движения рабочий орган станка будет перемещаться прерывисто (периодическими скачками).

Для приближенной оценки области параметров, в которой отсутствует потеря устойчивости (нет релаксационных автоколебаний), используют выражение критической скорости  $v_k$ , выше которой движение рабочего органа будет иметь устойчивый характер [1]

$$v_k = \Delta F / \sqrt{\psi c m},$$

где  $\Delta F$  — разность между силами трения покоя и трения скольжения в направляющих рабочего органа;  $\psi$  — относительное рассеяние энергии при колебаниях;  $c$  — приве-

денная жесткость привода;  $m$  — масса перемещаемого рабочего органа.

В связи с тем, что величины имеют случайный характер, значение  $v_k$  будет иметь случайный характер [3].

Существующие методы контроля основаны на использовании индикаторов часового типа, однако применение их для нормирования неравномерности в виде допустимых единичных «скачков» перемещения правомерно для медленных (малых) подач стола, не превышающих 20 мм/мин.

Универсальным методом оценки неравномерности перемещения стола является применение датчика скорости и регистрирующих приборов, позволяющих записать изменения скорости.

Поэтому уровень неравномерности движения рабочего органа определялся при помощи специально изготовленного прибора для измерения и регистрации медленных перемещений. Конструктивно прибор выполнен

в виде двух блоков: датчика и пульта, соединенных кабелем с разъемом. Датчик электродинамического типа состоит из магнитопровода с постоянными магнитами и подвижного штока с катушкой.

Соединение штока датчика с исследуемым узлом производится с помощью магнитного наконечника, установленного на штоке. Пульт представляет собой корпус, в котором размещены фильтр низких частот, усилитель постоянного тока и фильтр для выделения переменной составляющей сигнала. На передней панели корпуса размещаются показывающие приборы, органы настройки и разъемы для подключения датчика и осциллографа или самописца. Один из приборов показывал значения скорости, а второй — неравномерность движения. Для определения степени неравномерности движения необходимо показания второго прибора разделить на показания первого.

Благодаря регистрации сигналов скорости величину скачка  $\Delta l_m$  можно определить, например, как площадь, ограниченную кривой гармонического колебания скорости за один период колебаний (рисунок 2).

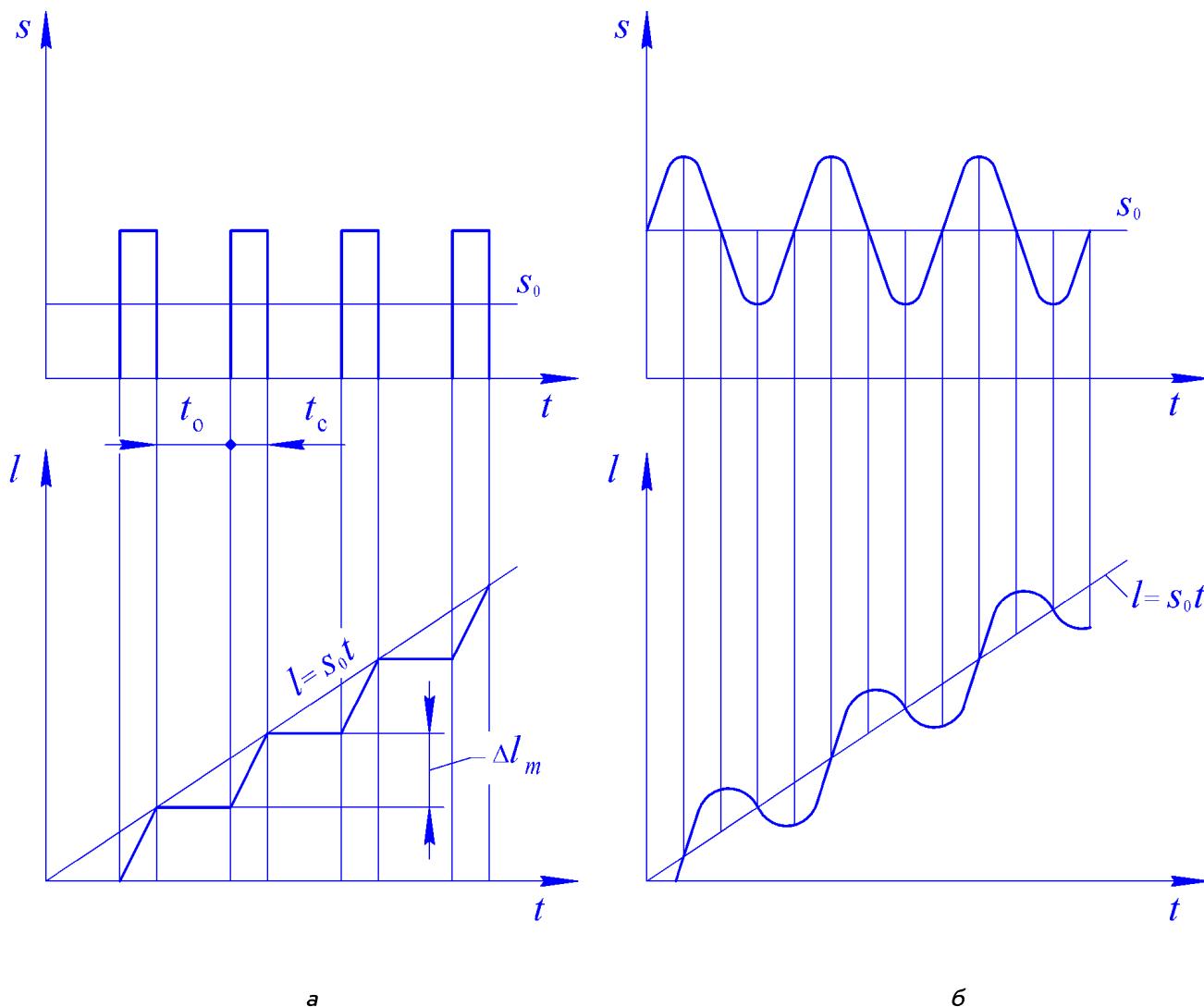


Рисунок 1 — Графики скорости подачи  $s$  и перемещения  $l$  стола при автоколебаниях релаксационного (а) и гармонического (б) типа ( $s_0$  — установленная скорость движения;  $t_0$  — время остановки;  $t_c$  — время «скакча»;  $\Delta l_m$  — амплитуда «скакча»).

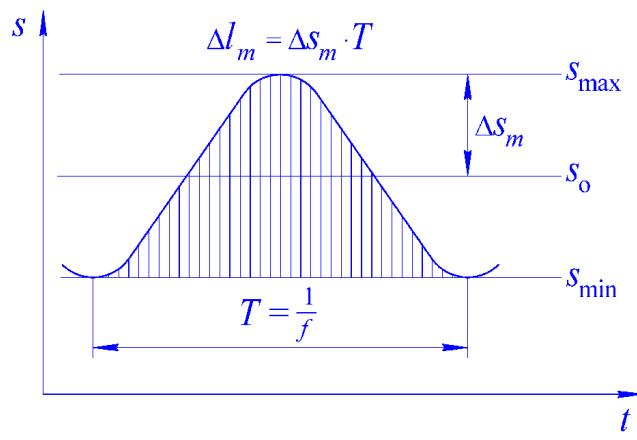


Рисунок 2 — Определение величины «скачка» по результатам записи сигналов скорости подачи рабочего органа.

$$\Delta l_m = \int_0^T [\Delta s_m \sin \omega t + \Delta s_m] dt = \Delta s_m \cdot T,$$

где  $\Delta s_m$  — амплитуда колебаний скорости подачи;  $w$  — круговая частота колебаний;  $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$  — период колебаний.

Если обозначить допустимую величину «скачка» через  $\Delta l_m$ , то допустимая величина амплитуды колебаний скорости будет зависеть от частоты  $f$  колебаний.

$$\Delta s_m = \Delta l_m \cdot \frac{1}{T} = \Delta l_m \cdot f.$$

Эксперименты показали, что наличие нерастворенного воздуха в гидросистеме, который может попадать в нее после каждой остановки и последующего пуска насосов, вызывает значительные по амплитуде колебания скорости стола, достигающие 15–20% установленного значения, с частотой примерно 3–4 Гц.

Особенно сильно это сказывается при втягивании штока, когда регулятор потока включен на выходе из поршневой полости, что объясняется низким уровнем противодавления и модулем упругости масловоздушной смеси с большим содержанием свободного (нерастворенного) воздуха.

При реализации заданного цикла обработки важным является минимальный разброс точек позиционирования и перехода с одной скорости подачи на другую. Результаты измерений разброса точки перехода с быстрого подвода на рабочую подачу представлены на рисунке 3. При непосредственном переходе стола (без предварительного торможения) с быстрого подвода на рабочую подачу среднеквадратичное отклонение было  $\sigma = 0,4 - 0,55$  мм, а интервал рассеивания точки перехода (при вероятности

$95,2\%) \pm 2\sigma = \pm 0,8 - 1,1$  мм (кривая 1).

При ступенчатом торможении среднеквадратичное отклонение  $\sigma = 0,16$  мм, а интервал рассеивания точки перехода (при вероятности 95,2%)  $\pm 2\sigma = \pm 0,32$  мм, то есть точность перехода повышается в 3 раза (кривая 2). Это позволяет существенно сократить величину холостого перемещения стола в режиме рабочей подачи до касания инструмента и вспомогательное время при коротких циклах обработки.

Для этого в гидросхеме следует обеспечить поочередное шунтирование дросселей подачи, а также двойное дросселирование потока рабочей жидкости (на входе и выходе).

Для повышения стабильности движения и точности позиционирования возможно использование управляемого гидродемпфера с магнитной жидкостью [3]. Шток гидродемпфера присоединяется непосредственно к рабочему органу. Вязкость магнитной жидкости, находящейся в корпусе гидродемпфера, изменяется в зависимости от величины тока в обмотках управления.

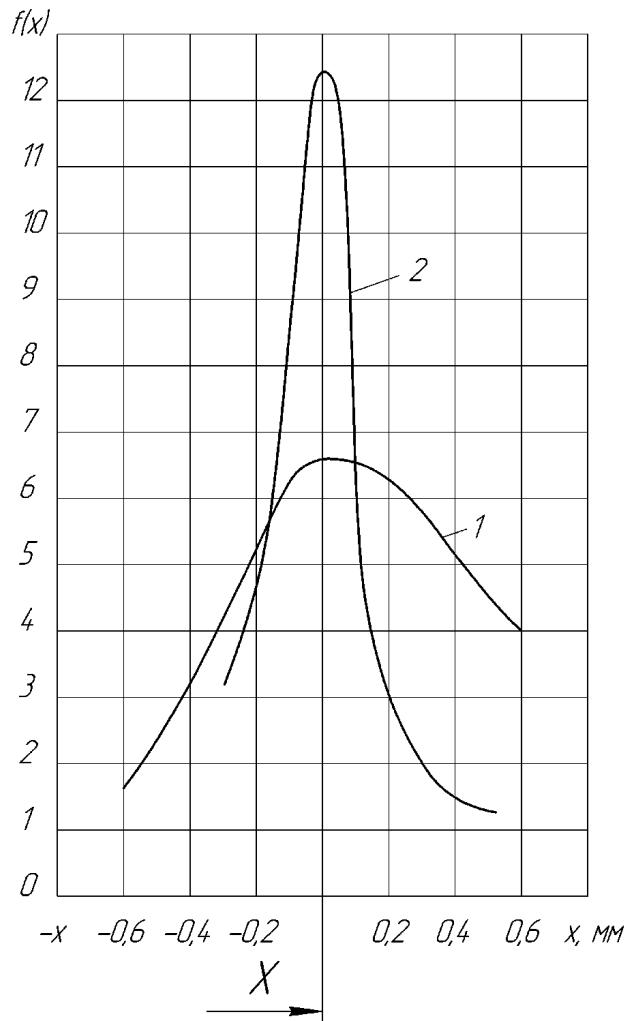


Рисунок 3 — Кривые плотности нормального распределения  $f(x)$  показаний индикатора при измерении величины разброса точки перехода стола с быстрого подвода на рабочую подачу ( $x$  — отклонение от истинного значения;  $X$  — наиболее вероятное значение показаний при измерении).

Например, фирма Toshiba благодаря использованию магнитной демпфирующей системы, которая гасит колебания при остановке стола, обеспечила точность позиционирования 0,1 мкм [4].

При использовании предварительной разгрузки насоса быстрых перемещений можно снизить скорость быстрого подвода в конечной фазе торможения до 1 м/мин и, соответственно, сократить разброс точки перехода с быстрого подвода на рабочую подачу примерно в 3 раза, что уменьшает время холостого хода и всего цикла обработки.

## Выводы

Исследования подтвердили возможность получения от гидропривода стола малых подач в диапазоне от 2 до 5 мм/мин, которые используются при торцевом растачивании.

Решение данной проблемы позволяет отказаться от специальных механизмов малых подач и гидроупоров, которые применяются в настоящее время.

На основании проведенных исследований можно сформулировать следующие требования к гидроприводу подачи отделочно-расточных станков:

- все переключения в гидросистеме должны происходить достаточно плавно, без гидравлических ударов, чрезмерных колебаний давления и скорости стола, за

время не превышающее нескольких десятых долей секунды;

- «скакки» стола при пусках, переключении подач с быстрого подвода на рабочую подачу, с одной рабочей подачи на другую, остановках стола не должны превышать десятых долей миллиметра;
- разброс точки перехода с быстрого подвода на рабочую подачу должен быть минимально возможным с целью снижения величины холостого хода стола в режиме рабочей подачи до момента касания режущей части инструмента с обрабатываемой поверхностью.

## Литература

1. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. Металлорежущие станки и деревообрабатывающее оборудование. Т. IV-7 / Б.И. Черпаков, О.И. Аверьянов, Г.А. Адоян и др.; под ред. Б.И. Черпакова. — М.: Машиностроение, 2002. — 864 с.
2. Проектирование гидравлических систем машин / Г.М. Иванов, С.А. Ермаков, Б.Л. Коробочкин, Р.М. Пасынков. — М.: Машиностроение, 1992. — 224 с.
3. Струтинський, В.Б. Стохастичні процеси у гідроприводах верстатів: монографія / В.Б. Струтинський, В.М. Тихенко. — Одеса: Астропrint, 2009. — 456 с.
4. Петров, Н.А. Состояние и перспективы развития технологии и оборудования для сверхпрецизионной обработки: Аналитический обзор. Н.А. Петров — М.: ВНИИТЭМР, 1991. — 44 с.

Надійшла 14.10.2011 р.