9. Руденко, Б.Д. Образцы для исследования прочностных свойств цемент-нодревесных материалов [Текст] / Б.Д. Руденко, В.Т. Изотов // Лесной и химический комплексы-проблемы и решения. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции 23-24 октября 2014 г. Красноярск: СибГТУ, 2014 г. с. 60-62.
10. Руденко, Б.Д. Формирование структуры известковоцементнодревесного композита на основе кавитированных древесных частиц [Текст] / Б.Д. Руденко, М.А. Баяндин, В.Н. Ермолин, С.Г. Елисеев // Лесной и химический комплексы-проблемы и решения. Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции 29-30 октября 2015 г. Красноярск: СибГТУ, 2015 г. с. 199-203.
11. Руденко, Б.Д., Прочность цементно-древесного композита из кавитированных древесных частиц при одноосном растяжении / Б.Д. Руденко, М.А. Баяндин, А.В. Намятов, С.Н. Казицин // Решетневские чтения [Электронный ресурс]: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (08-11 нояб. 2017, г. Красноярск). в 2 ч. ; СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2017. Ч.2. - 163 – 164 с. Режим доступа: <https://reshetnev.sibsau.ru/page/materialy-konferentsii>. – Загл. С экрана.
12. Руденко, Б.Д. Формирование структуры гипсоцементнодревесного композита на основе кавитированных древесных частиц [Текст] / Б.Д. Руденко, В.В. Кулак // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник научных трудов. Выпуск 55. – Брянск: БГИТА, 2019. – с. 177 - 180.

Тащилин Л.Н.

**Инструментарий для проведения экспериментальных исследований
технологических механизмов и их приводов**

*ВКА имени А.Ф. Можайского
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/lj-12-2019-09

idsp: ljjournal-12-2019-09

Аннотация

Для проведения экспериментальных исследований технологических механизмов и их приводов с целью подтверждения результатов теоретических разработок и уточнения соответствующих параметров используется ряд механических, электрических, электронных и прочих инструментов, выполняется набор определенных действий. В статье рассмотрены самые распространены из них.

Ключевые слова: инструменты, приборы, стенды, приводы, спектр, гидропривод, технические характеристики, модернизация, методика измерений, тарирование, осциллограф.

Abstract

To conduct experimental studies of technological mechanisms and their drives in order to confirm the results of theoretical developments and clarify the relevant parameters, a number of mechanical, electrical, electronic and other tools are used, a set of certain actions is performed. The article discusses the most common of them.

Keywords: instruments, instruments, stands, drives, spectrum, hydraulic drive, technical characteristics, modernization, measurement methodology, calibration, oscilloscope.

Обычно проектируется и изготавливается ряд экспериментальных установок, стендов и инструментов для измерения конструктивных, кинематических, силовых и технологических параметров, что позволяет совершенствовать конструкции приводов и устанавливать оптимальные параметры их работы. Они применяются для исследования конструктивных и эксплуатационных факторов (жесткости рабочего элемента механизма, точности и надежности включения прибора, процессов транспортировки и смешивания сыпучих материалов, производительности и тому подобное).

Например, для проведения экспериментальных исследований производительности жесткого винтового конвейера с гофрированным рабочим органом используется стенд, общий вид которого изображен на рисунке 1.

Рис. 1 Общий вид жесткого винтового конвейера

Стенд выполнен в виде рамы, на которой жестко установлен кожух, электродвигатель с муфтой, вал, на котором закреплен гофрированный рабочий орган.

В дальнейшем составляется программа исследований. Например, для проведения экспериментальных исследований приводов на натурных кранах испытания проводятся с целью выяснения:

- принципиальной возможности работы механизма передвижения мостового крана, оснащенного раздельным гидростатическим приводом с насосами регулируемой производительности;
- работоспособности предложенной системы дистанционного управления двумя насосами регулируемой производительности;
- спектра регулирования скорости гидропривода в натурных условиях;
- характера и величины динамических усилий, возникающих в валопроводе механизма передвижения;
- способности торможения гидропривода без механических тормозов;
- способности гидропривода рекуперировать энергию в сеть при торможении.

Далее определяются технические характеристики проведения испытания, которые впоследствии настраиваются, и, в случае необходимости, проводятся необходимые изменения в стендах, определяется целесообразность использования дополнительного оборудования и программного обеспечения.

Пример определения технических характеристик.

Сравнительные экспериментальные исследования приводов на натурных кранах проводятся с грузами 5, 10, 15, 20, 25, 30 т. при трех положениях тележки вдоль пролета моста (среднее и оба крайних) и трех положениях груза по высоте.

Испытания для обоих приводов осуществляются при нормальной интенсивности разгона и торможения, в режиме максимально возможной интенсивности разгона и торможения, в режиме торможения противовключением, в случае аварийного торможения.

Пример модернизации стендов для проведения исследований.

Для улучшения точности и удобства проведения экспериментальных исследований винтовых транспортно-технологических механизмов и их приводов в кинематические цепи стендов монтируется автоматизированный электропривод, включающий трехфазный асинхронный электродвигатель, управляемый

преобразователем частоты (ALTINAR-71) (ПЧ) с ПК с помощью программного обеспечения Power Suite версии 2.3.0 (рис. 2) [1].

Рис. 2 Общий вид автоматизированного электропривода для исследования механических систем с преобразователем частоты и персональным компьютером [2]

Благодаря этой программе в автоматизированном режиме в ПК может осуществляться выбор необходимой частоты вращения вала двигателя и проводиться его запуск. При управлении работой двигателя предусмотрена возможность плавного наращивания и уменьшения его частоты вращения в пределах от 0 до 1480 об / мин., что позволяет выполнять исследования статических и динамических процессов. Кроме того, предусмотрена возможность включения реверса вала двигателя. Значение частоты вращения вала двигателя (погрешность в пределах $\pm 1,5\%$) фиксируются с помощью датчика типа E40S6-10Z4-6L-5, который подключен к ротору двигателя и ПК. Данные о расходах энергии и величине крутящего момента на валу электропривода, в зависимости от нагрузки, в установленные сроки времени в виде табличных данных и графических зависимостей, отображаются на мониторе ПК.

Выбор показателей и параметров, которые должны контролироваться, анализироваться, а также обоснование методики их измерения.

Пример выбора показателей и методики измерения

Для оценки работы гидропривода на осциллографе записываются следующие параметры:

M_1 и M_2 – крутящие моменты в трансмиссионных валах обоих гидроприводов;

P_1 и P_2 – давление в обоих трубопроводах высокого давления одного из гидроприводов;

N_1 и N_2 – мощность потребляемая и восстанавливаемая обоими приводными двигателями гидроприводов;

α – угол поворота вала (управляющее воздействие) дистанционного управления одного из насосов;

φ – угол отклонения грузовых канатов;

$n_{\text{гм}}$ – скорость вращения выходного вала одного из гидромоторов;

$n_{\text{эд}}$ – скорость вращения одного из приводных электродвигателей гидропривода;

обозначение «г.м» - импульсный счетчик оборотов одного из гидромоторов;

обозначение «эд» - импульсный счетчик оборотов одного из приводных электродвигателей;

t – время.

Методика записи и тарирования отдельных параметров заключается в следующем:

1. Крутящие моменты M_1 и M_2 в трансмиссионных валах, соединяющие редуктор с ходовым колесом, записываются с помощью тензодатчиков. В связи с

небольшой скоростью вращения трансмиссионного вала (30 об/мин) и ограниченной длиной пробега крана (50 м) возможно выполнять передачу сигналов с тензодатчиков без применения токосъемников. Экранированный кабель при этом наматывается на трансмиссионный вал.

Для предотвращения запутывания экранированного кабеля и автоматизации (без участия экспериментатора) процессов наматывания и сматывания кабеля трансмиссионного вала была разработана система, состоящая из отклоняющего рольганга, подвижного блока и груза.

Для тарирования датчиков крутящего момента (рис. 3) целесообразно использовать мерный рычаг (длиной 1 м), который крепится на зубчатой муфте ходового колеса; пружинный динамометр; винтовое стягивающее устройство; тормозное устройство для стопорения выходного вала гидромотора.

Для проведения тарировки приводная система крана с помощью домкратов поднимается (ходовые колеса крана отрываются от рельсов), винтовым утягивающим устройством на трансмиссионном валу создается крутящий момент, величина которого определяется по показателям динамометра и одновременно записывается на осциллограф. В процессе проведения экспериментов тарирование крутящего момента целесообразно осуществлять несколько раз.

1 - мерный рычаг; 2 - винтовое стягивающее устройство; 3 - динамометр

Рис. 3 Тарирование датчиков крутящего момента трансмиссионного вала [3]

2. Тарировка датчиков давления P_1 и P_2 проводится непосредственно на мосту крана с помощью грузопоршневого манометра МП-60 таким же способом, как и при проведении стендовых исследований. Тарирование датчиков непосредственно на кране перед испытаниями и в процессе испытаний исключает возможность внесения погрешности, которая могла иметь место при тарировке только в стендовых условиях.

3. Потребляемую и восстанавливаемую мощность обоих приводов, как и в стендовых испытаниях можно записывать с помощью приборов П004. Тарирование осуществляется непосредственно на кране по показателям двух астатических ваттметров. При тарировке датчиков мощности ходовые колеса приводной стороны крана, как и при тарировке датчиков крутящего момента, отрываются от рельсов с помощью домкратов.

Нагрузка гидропривода осуществляется с помощью специального механического ленточного тормоза, устанавливаемого на соединительную муфту гидромотора.

4. Величина угла поворота коробки насосов α записывается на осциллограф и тарируется теми же средствами и методами, как и при проведении стендовых испытаний.

5. Для записи углов отклонения грузовых канатов φ применяется специально сконструированный датчик реохордного типа, охватывающей своими роликами один из грузовых канатов главного подъема (рис. 4).

Рис. 4 Датчик угла отклонения грузовых канатов

Тарирование датчика выполняется по величине дуги отклонения груза от нейтрального положения с последующим геометрическим перечислением. Для правильного тарирования на крюк подвешивается груз $Q = 5$ т. Для того, чтобы держать все грузовые канаты в натянутом положении.

Тарирование угла φ по величине дуги отклонения одной только крюковой подвески (вес 90 кг) дает неправильные результаты вследствие отклонения грузовых канатов по некоторой параболе, а не по прямой, как это имеет место при отклонении подвески с достаточным грузом.

Груз весом 5 т с помощью мускульной силы приводится в колебание с заранее заданной амплитудой. Одновременно осуществляется запись показаний на осциллограф. На рисунке 5 изображена установка датчика угла отклонения канатов на тележке.

1 - датчик; 2 - кабели для передачи показаний датчика на осциллограф
Рис. 5 Установка датчика угла отклонения канатов главного подъема

6. Параметры $n_{гм}$, $n_{эд}$ тарируются и записываются на осциллограф с использованием аналогичных методов, что и при проведении стендовых испытаний. Это же касается обозначений «гм» и «эд» и датчика времени.

Пример контроля показателей с использованием ПО

Рабочий терминал, подключенный к программному обеспечению *Power Suite* позволяет отображать его характеристики, электрические величины, рабочие параметры и неисправности; изменять настройки и конфигурацию ПЧ; управлять преобразователем в локальном режиме с помощью клавиатуры после подключения к

компьютеру; сохранять и восстанавливать конфигурацию в энергонезависимой памяти терминала.

ПЧ обеспечивает такие режимы работы как: транспортировка, общий режим или режим с переменным моментом.

Кроме того, программное обеспечение PowerSuite версии 2.3.0 позволяет:

- выбрать тип устройства, его схемную конфигурацию и ввести параметры двигателя;
- изменить настройки параметров (в т.ч. не имея доступа к устройству);
- переназначить и сконфигурировать входы и выходы;
- просмотреть и распечатать список параметров, их возможных и выбранных значений, а также значений по умолчанию;
- сохранить неограниченное количество конфигураций параметров на диске в виде файла;
- передать настройки в устройство или получить информацию о текущих настройках от устройства;
- управлять устройством используя ПК, с помощью виртуальных кнопок, аналогичных кнопкам на рабочем терминале;
- визуализировать внутренние переменные сигналы с помощью виртуальных измерительных приборов или виртуального осциллографа;
- экспортировать список настроек в другие программы;
- конвертировать файлы настроек предыдущих версий PowerSuite.

Панель управления *PowerSuite* (рис. 6) предназначена для управления ПЧ в режиме *Connected*, а также для имитации управления в режиме *Simulated*. После активизации панели (переключатель *Command*) она позволяет задавать направление вращения (переключатель *Rotation*) и частоту (*Frequency reference*), давать команды Пуск (кнопка *Test run*) и Стоп (кнопка *Test stop*).

Рис. 6 Панель управления двигателем

Виртуальный осциллограф предназначен для отображения состояний ПЧ и его внутренних переменных в функции времени и в частотные области. Окно осциллографа вызывается из окна конфигурации кнопкой *Scope* и оно фактически является одним из видов окна конфигурации (рис. 7).

Рис. 7 Окно осциллографа

При открытии окна осциллографа в главном меню появляется меню *Scope* (1) и одноименная панель инструментов (2). В поле осциллографа (3) в осях *X* (6) и *Y* (5) строятся графики. При желании в поле осциллографа можно вывести легенду (4). Легенда отражает связь между сигналами, выведенными на осциллографе, их названиями и цветовой маркировкой. На панели триггера (7) задаются режимы работы осциллографа, отображается состояние осциллографа.

Осциллограф имеет два типа измерений, которые можно выбрать в окне *Mode* опция *Scope type*: 1 – измерение быстро меняющихся во времени сигналов - *Scope type = Fast scope* (быстрый осциллограф); 2 – измерение медленно меняющихся во времени сигналов - *Scope type = Slow scope* (медленный осциллограф). Различия между ними заключаются в следующем. Во время измерения в режиме *Slow scope* осциллограф в режиме реального времени осуществляет вывод измеренных (принятых от преобразователя) данных на экран. При этом период времени между измерениями большой (достаточный для того, чтобы успеть осуществить обмен данными). В режиме *Fast scope* данные сначала записываются в память преобразователя, а затем передаются для отображения. Так же в группе параметров *Mode* выбирается тип отображения сигнала в функции времени (*Display type = Time*) или зависимость одного сигнала от другого (*Display type = XY*).

Настройка развертки осциллографа осуществляется в группе параметров *Sampling*. Для медленных процессов (*Scope type = Slow scope*) задается: для режима *Sampling rate* количество точек (*Nber of points*) и расстояние во времени между ними (*Sampling rate*), для режима *Time by division* количество точек (*Nber of points*) и цену деления (*Time by division*). Количество точек для медленных процессов может быть выбрано в пределах 10 ... 1000, шаг по времени 0,1 ... 100 с. Установки для измерения быстрых процессов (напр., Пуско-тормозные режимы) аналогичны. Шаг времени выбирается в пределах 0,001 ... 1 с.

Максимальное количество измерений (точек), которое может быть записано в память преобразователя, составляет около 4000, максимальное количество измеряемых сигналов в *Scope* может быть не более 4, поэтому при снятии более одного сигнала количество точек пропорционально уменьшается: 2 – 2000; 4 – 1000.

Рассмотренные в данной статье методики проектирования, создания и использования наборов инструментов для экспериментальных исследований конкретных механизмов несомненно могут быть применены для подобных исследований механизмов различного назначения.

1. Ломакин А.К. Разработка испытательного стенда для силовой системы линейного электрического привода // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2018. - №11. - С. 326-332.
2. Каширин Д.Е., Гобелев С.Н., Нагаев Н.Б. Стенд для испытаний системы частотный регулятор - асинхронный электродвигатель // Сельский механизатор. - 2018. - №2. - С. 34-35.
3. Рылякин Е.Г. Терморегулирование рабочей жидкости в гидроприводе транспортно-технологических машин // Актуальные вопросы современной науки. - 2014. - №1. - С. 5-10.