



## **Автоматизированная станция гидравлического нагружения для силовых статических испытаний изделий из композиционных материалов**

*В.И. Маринин, И.Г. Семенченко, А.И. Бутов, С.В. Омелянчук, И.В.*

*Шишков, А.А. Сидоренко*

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова*

**Аннотация:** В настоящей работе приведены основные технические характеристики станции гидравлического нагружения, её техническая структура и конструктивная компоновка. Представленная в статье структура системы управления позволяет решать задачу программного воспроизведения осевых, перерезывающих сил и моментов для заданных скоростей с требуемой точностью.

**Ключевые слова:** Гидравлическая система, система управления нагружением, регулятор давления.

Экспериментальная отработка вновь создаваемых серийных изделий из композиционных материалов [1-4] изготовленных методом намотки и проведение их приемо-сдаточных испытаний требуют воссоздания в реальном времени полного комплекса силовых эксплуатационных воздействий (осевых и поперечных сил, крутящих и изгибающих моментов, внутреннего давления) [5-7].

На протяжении более 15 лет для этих целей использовались автономные станции гидравлического нагружения, в которых отсутствовала обратная связь по силовым нагрузкам и тем более многоканальное синхронное воспроизведение нагрузок. В таких установках давление рабочей жидкости (минеральное масло) величиной до 32МПа, создаваемое насосной станцией, воздействует на поршень гидроцилиндра с заданным в зависимости от усилий диаметром. Основными недостатками этих установок является невозможность проведения циклических испытаний и сложность реализации нагружения с заданной скоростью, а также отсутствие возможности проводить нагружение по оцениваемому параметру – сила, момент.

---



В настоящей статье рассматривается устройство и технические возможности автоматизированной станции гидравлического нагружения (АСГН) для испытания изделий из композиционных материалов, разработанной в НИИ ВИУС ЮРГПУ(НПИ), испытанной и переданной в промышленную эксплуатацию в АО «ЦНИИСМ» г.Хотьково.

АСГН является ядром многоканального локального автоматизированного технологического комплекса силовых испытаний и должна обеспечить проведение статических силовых испытаний изделий в следующих режимах работы:

- при линейном многоступенчатом нагружении с заданной скоростью изменения усилий в том числе с выдержкой под испытательной нагрузкой в течении заданного промежутка времени;
- при управляемом сбросе нагрузки до нуля с выдержкой на этапе сброса;
- при циклическом изменении испытательной нагрузки от заданного минимального до заданного максимального значений.

Известны гидросистемы [8,9], представляющие собой гидропривод с дроссельным регулированием, причем в качестве основного регулируемого аппарата используется переливной гидроклапан с пропорциональным управлением. В этих гидросистемах при нагружении-разгрузке имеется большой риск возникновения пульсаций давления, в том числе и незатухающих автоколебаний.

Основные технические характеристики разработанной АСГН приведены в таблице 1.

Автоматизированная станция гидравлического нагружения выполнена в виде закрытого напольного шкафа на колёсных опорах. В ее состав входят следующие составные части: насосная станция, блок электроники (система управления), каркас с защитными панелями (рис. 1).



Таблица 1

Технические характеристики АСГН

Параметр	Значение
Полезный объем маслобака, л	63
Заправочный объем маслобака, л	70
Рабочая жидкость	МГЕ-10А ОСТ 38.01281-82
Номинальное давление, МПа	32
Максимальное допустимое давление, МПа	35
Подача насоса (при частоте вращения вала приводного электродвигателя 2900 об/мин), л/мин	6,0
Пределы изменения производительности, л/мин	0–5
Напряжение питания электронного блока АСГН	3Ф~50Гц, 380 В
Мощность привода насоса, кВт	7,5
Рабочий объем насоса, см <sup>3</sup> /об	2,0
Номинальная тонкость фильтрации, мкм	10
Габаритные размеры АСГН (Д x Ш x В), мм:	900 x 700 x 1812
Масса (с сухим баком), кг	400
Погрешность воспроизведения заданного давления, МПа	+/- 0,2
Форма задания траектории нагружения	Кусочно-линейная
Регистрация давления во времени	С интервалом от 0,1 до 10 сек.

На передней панели станции установлены:

- манометры;
- вентили управления гидравлическими аппаратами;

- кнопки управления питанием и приводом;
- переключатели выбора режима работы и линии нагружения;
- панель управления приводом насоса;
- промышленный панельный компьютер;
- выдвигающийся отсек для клавиатуры и манипулятор типа «мышь».

С тыльной стороны расположено окошко для доступа к автоматическим выключателям и ниша с разъемами для подключения центрального пульта и датчиков усилия, а внизу - быстросъемные гидравлические соединители.



Рис. 1 – Автоматизированная станция гидравлического нагружения

Блок электроники расположен в верхней части каркаса станции на виброизолирующих подвесах. Насосная станция НЭЭ-5Н63Т1 [10] с радиально-поршневым насосом расположена в нижней части шкафа на

---

виброизолирующих опорах. Эта станция наиболее полно обеспечивает требуемые параметры по расходу и давлению. На эту станцию дополнительно было установлено оборудование: гидропневмоаккумулятор с блоком безопасности, переливной клапан с пропорциональным управлением DUPLOMATIC PRED-3J, кран многоходовый типа KMX4.

На рис. 2 представлена гидросистема для нагружения конструкции при силовых испытаниях.

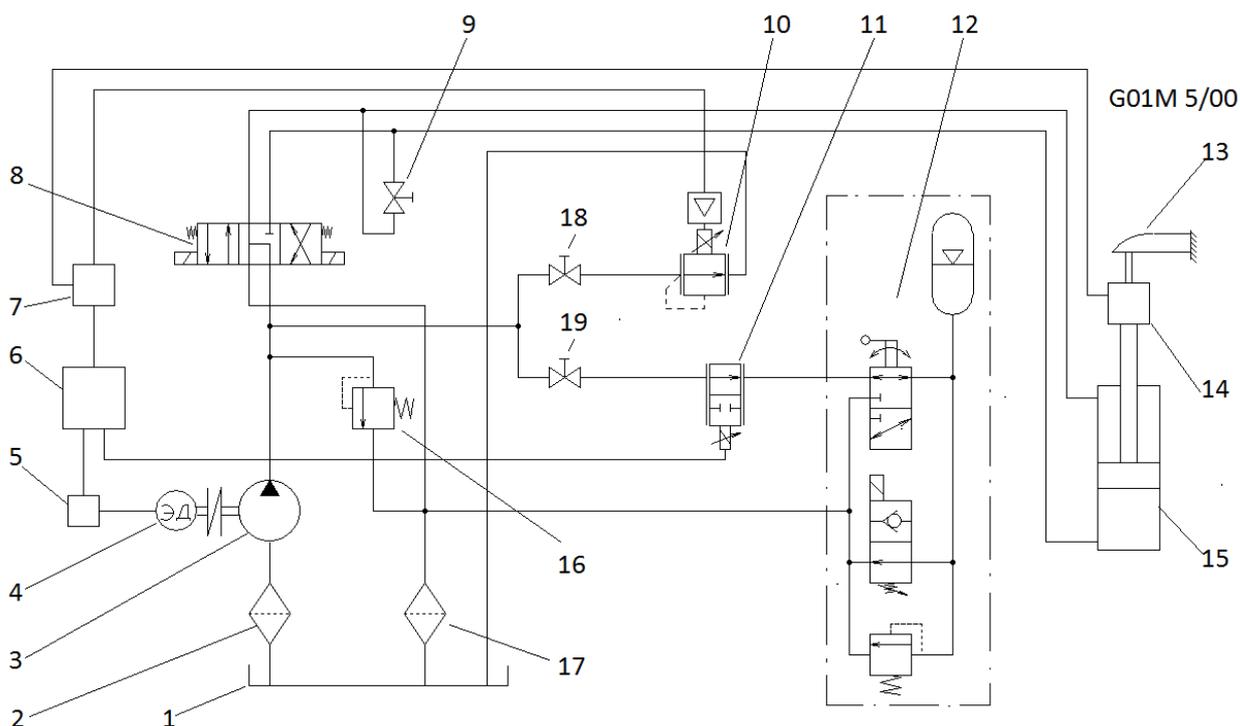


Рис. 2 – Принципиальная гидравлическая схема

Гидравлическая система содержит: гидробак 1; приёмный фильтр насоса 2; нерегулируемый радиально-поршневой насос 3; электродвигатель 4 с частотным преобразователем 5; программный задатчик 6; сравнивающее устройство 7; трехпозиционный четырехходовой гидрораспределитель с электромагнитным управлением 8; вентиль аварийного сброса давления 9; переливной клапан с пропорциональным управлением и предохранительным клапаном 10; двухпозиционный гидроклапан с пропорциональным



управлением 11; гидропневмоаккумулятор с защитным блоком 12; испытываемая конструкция 13; указатель уровня нагрузки (датчик усилия) 14; гидроцилиндр двустороннего действия с одним штоком 15; основной предохранительный клапан 16; фильтры тонкой очистки 17; вентиль отключения гидросистемы гидропневмоаккумулятора 18; вентиль отключения пропорционального переливного клапана 19.

Гидравлическая система работает следующим образом. После включения в работу электродвигателя с частотным регулированием, рабочая жидкость из маслобака 1 через приемный фильтр 2 поступает в насос 3. При нейтральной позиции золотника гидрораспределителя 8 рабочая жидкость поступает на слив через фильтры тонкой очистки 17.

При включении электромагнита ЭМ1 одновременно запускается программа по отработке заданной диаграммы усилия. Рабочая жидкость от распределителя поступает в гидроцилиндр нагружения и создает необходимое усилие нагружения. Сигнал от указателя нагрузки 14 поступает в сравнивающее устройство 7 и программный задатчик 6. Одновременно рабочая жидкость поступает через переливной клапан с пропорциональным управлением и датчиком давления 10 на слив. Рабочее давление в гидроцилиндре формируется пропорциональным переливным клапаном путем регулирования проходного сечения, уменьшая его при нагружении и увеличивая при снижении нагрузки. Так выполняется отработка заданной диаграммы нагружения.

Кроме того, рабочая жидкость поступает и в гидропневмоаккумулятор при открытом кране блока безопасности. Гидропневмоаккумулятор сглаживает пульсации в системе и защищает ее от гидравлического удара.

На рисунках 3-4 приведены результаты испытаний в производственных условиях АСГН с предлагаемой гидросистемой, гидропневмоаккумулятор был заряжен на 9 МПа.

---

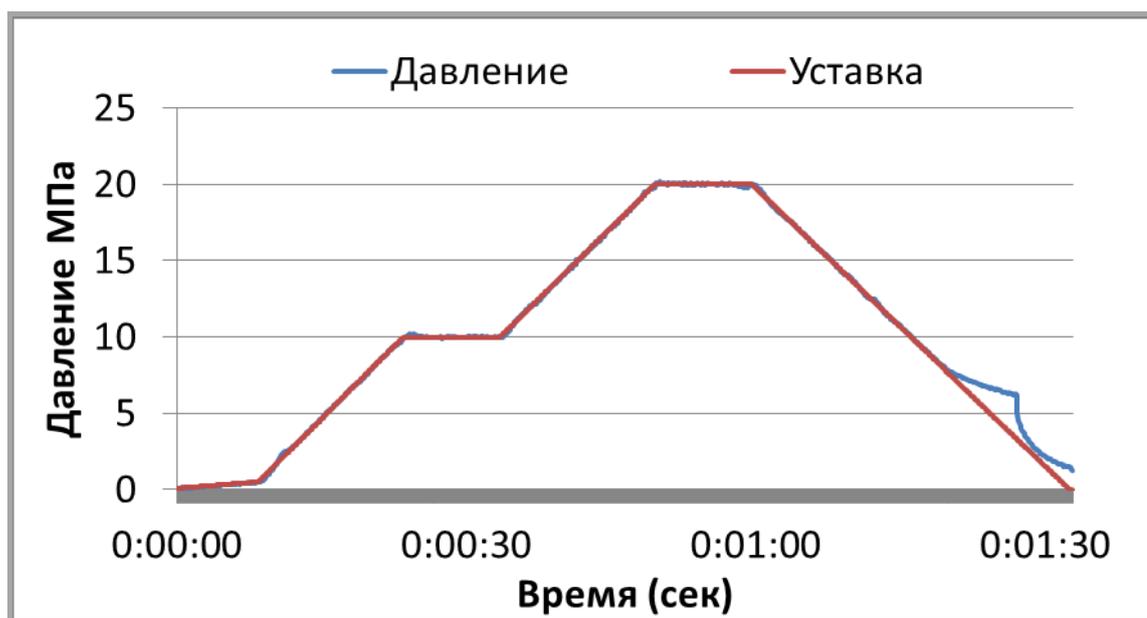


Рис. 3 График изменения давления при скорости 0.6 МПа/с (с гидропневмоаккумулятором)

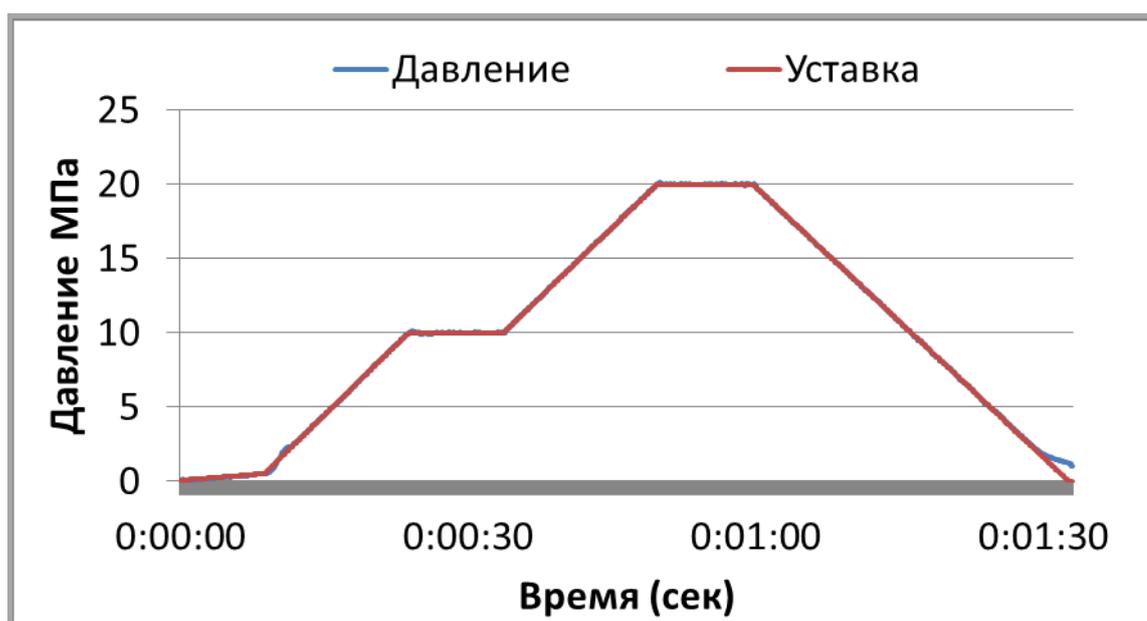


Рис. 4 График изменения давления при скорости 0.6 МПа/с (при плавном закрытии обратного клапана гидропневмоаккумулятора)

На рис. 3 и рис. 4 показаны графики давления для скорости снижения давления 0,6 МПа/с - рис. 3 с гидропневмоаккумулятором и рис. 4 при закрытии обратного клапана гидропневмоаккумулятора на участке разгрузки. Как видно из приведенных рисунков, плавное закрытие



обратного клапана на участке разгрузки позволяет убрать всплески давления.

Электронный блок содержит компоненты системы управления, в функции которой входит:

- управление процессом нагружения;
- автоматическое поддержание заданного испытательного усилия;
- интерактивное формирование траекторий нагружения;
- защиту испытываемого изделия от превышения давления;
- формирование и вывод на панель оператора протокола испытаний и диаграмм нагружения;
- сохранение и передачу в вышестоящие системы результатов испытаний.

Система управления усилием построена как двухуровневая система с внешним контуром по средним значениям усилий по всем активным датчикам в соответствии со схемой нагружения по каналам (осевая/перерезывающая сила, момент). Внутренний контур представлен регулятором давления масла.

Структурная схема регулятора давления АСГН представлена на рисунке 5. Регулятор давления выполнен по схеме каскадного регулирования. Первый канал – ведущий, обеспечивает стабилизацию давления путём регулирования частоты вращения двигателя насоса. Второй канал – ведомый, вычисляемая им степень закрытия пропорционального клапана зависит от заданного давления и интегрального рассогласования между заданной частотой вращения (16 Гц – при подъёме и выдержке давления, 10 Гц – при сбросе давления) и текущей частотой преобразователя. В качестве задания для регулятора сечения клапана используется константа, равная минимальным рекомендуемым оборотам гидравлического насоса. Регулятор сечения дает задание регулятору тока соленоида, который,

---

непосредственно управляя током в соленоиде, определяет проходное сечение пропорционального клапана.

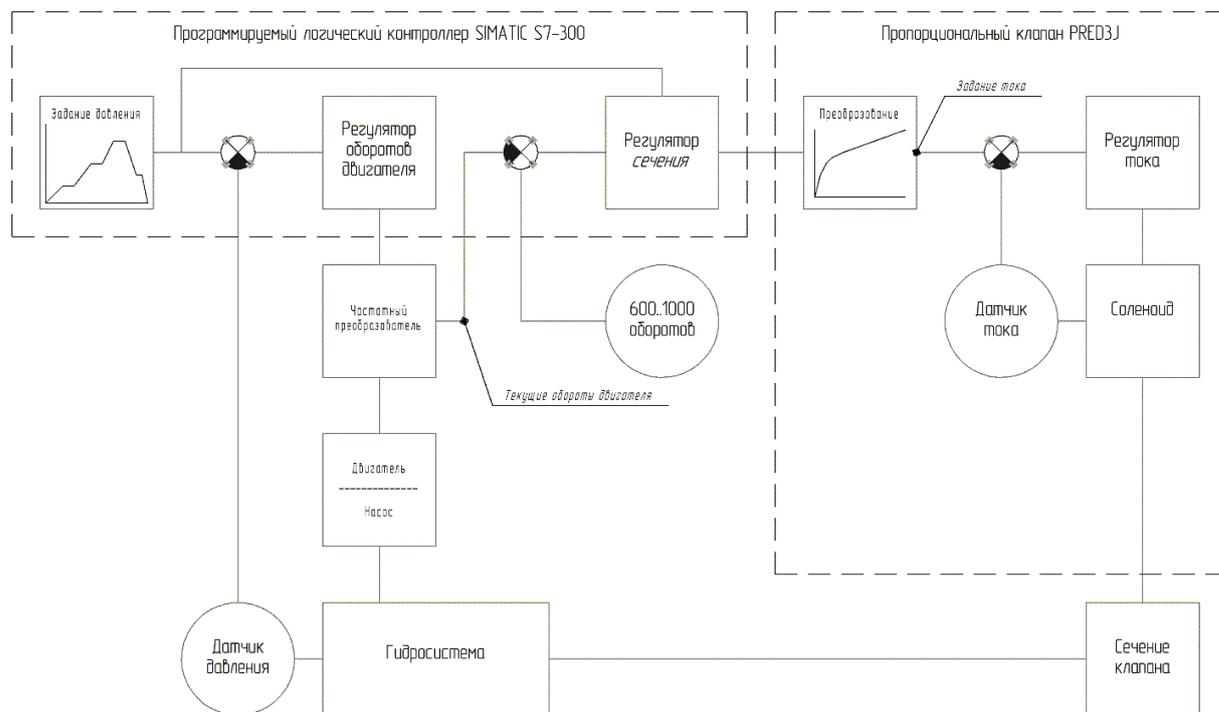


Рис. 5 Структурная схема регулятора давления.

Результаты испытаний системы управления представлены на рис. 6. Из графика видно, что максимальные отклонения замеренного усилия от заданного (программного) на всем участке диаграммы составляет в пределах 0.26 Тс для гидроцилиндра 50 Тс. Максимальные отклонения усилия наблюдаются только при переходе после подъема на полочку с постоянным усилием.

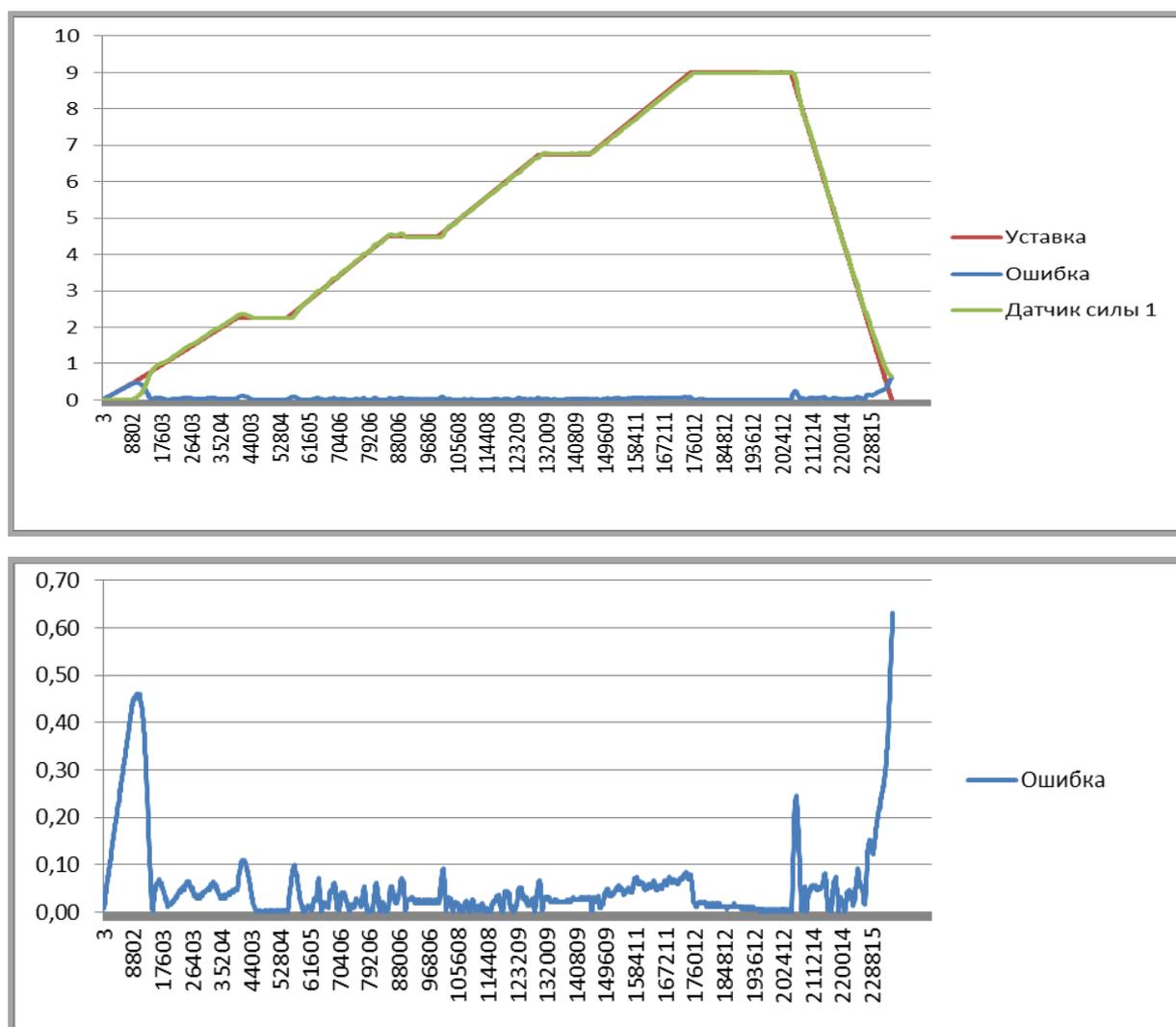


Рис. 6 – Результаты испытаний системы управления.

### Литература

1. Koussios, S (2004) «Filament Winding: a Unified Approach», DUP Science, ISBN 90-407-2551-9, 400 p.
2. Peters, S T (2011) “Composite Filament Winding”, Materials Park, Ohio: ASM International, ISBN 1615037225, 167 p.
3. Савин А.Г. Математическое моделирование пятикоординатного двухшпиндельного намоточного станка // Инженерный вестник Дона, 2016, №3, URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_54\\_Savin.pdf\\_22dcaf2d67.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_54_Savin.pdf_22dcaf2d67.pdf).



4. Савин А.Г. Автоматизация синтеза виртуальных моделей технологического оборудования в системах автоматизированного программирования многокоординатных станков с ЧПУ // Инженерный вестник Дона, 2017, №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4045](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4045).
5. Роженцев В.С., Новиков А., Шаманин А. И др. Автоматизированная система для определения механических свойств материалов // Современные технологии автоматизации. - 2007. - №2. - с.72-78.
6. Прокопенко Ю.Д., Роженцев В.С., Прокопенко И.Ю. Стендовое оборудование для испытаний элементов ракетнокосмической техники // Тезисы докладов Всероссийской научнотехнической конференции «Измерения и испытания в ракетнокосмической промышленности». - М., 2009. - С. 64-67.
7. Автоматизированная система управления установкой для испытаний изделий внутренним давлением. В. Роженцев, Ю. Прокопенко, В. Мараховский и др. // Современные технологии автоматизации. - 2010. №3. С. 54-65.
8. Патент RU № 2449253 С2, кл. G01M 5/00, 2012.
9. Патент SU № 805752, кл. G01M 5/00, 1996.
10. Гидравлическое оборудование и технические решения. Каталог ЭНЕРПРЕД. - Иркутск. - 2014. - 110 с.

### References

1. Koussios, S (2004) «Filament Winding: a Unified Approach», DUP Science, ISBN 90-407-2551-9, 400 p.
  2. Peters, S T (2011) «Composite Filament Winding», Materials Park, Ohio: ASM International, ISBN 1615037225, 167 p.
  3. Savin A.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_54\\_Savin.pdf\\_22dcf2d67.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_54_Savin.pdf_22dcf2d67.pdf).
-



4. Savin A.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4045](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4045).
5. Rozhencev V.S. Novikov A., Shamanin A. a.o. Sovremennye tekhnologii avtomatizacii. 2007. №2. pp. 72-78.
6. Prokopenko Yu.D., Rozhencev V.S., Prokopenko I.Yu. Abstracts of the All-Russian Scientific Technical Symp. «Measuring and testing in the rocket-space industry». Moscow, 2009. pp. 64-67.
7. V. Rozhencev, Yu. Prokopenko, V. Marahovskij a.o. Sovremennye tekhnologii avtomatizacii. 2010. №3. pp. 54-65.
8. Pat. RU № 2449253 S2, kl. G01M 5/00, 2012.
9. Pat. SU № 805752 S2, kl. G01M 5/00, 1996.
10. Gidravlichesкое oborudovanie i tekhnicheskie resheniya. Katalog EHNERPRED [Hydraulic equipment and technical solutions. ENERPRED Catalog]. Irkutsk. 2014. 110 p.