

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА ОБОЛОЧЕК, ПОДВЕРГНУТЫХ СЛОЖНОНАПРЯЖЕННОМУ СОСТОЯНИЮ

К. А. Бобреев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Методика определения механических свойств δ -стабилизированного плутония непосредственно на полусферических деталях ОЗ-Т при их гидравлическом нагружении разработана в КНИО РФЯЦ-ВНИИЭФ. Для реализации методики спроектировано, изготовлено и испытано на оболочках из материала-имитатора «Устройство для определения свойств материала при гидростатическом нагружении тонкостенных оболочек» (получено решение о выдаче патента на изобретение по заявке №2009134584/28(048695)). Однако построение диаграммы деформирования при равномерном плоском растяжении возможно только при наличии высокоточной автоматизированной измерительной системы. Имевшиеся в наличии измерительные системы, применяемые для построения диаграмм деформирования при одноосном растяжении образцов, для решения данной задачи не пригодны вследствие недостаточной точности, поскольку линейные деформации при сложнонапряженном нагружении вдвое меньше, чем при одноосном. Указанное обстоятельство обусловило

начать разработку высокоточной измерительной системы. Был проведен анализ существующих измерительных систем, по результатам которого можно отметить, что аналогичных измерительных комплексов, по крайней мере, во ВНИИЭФ не существовало, а конструкции разработанных датчиков измерения относительной деформации уникальны.

Блок-схема измерительного комплекса, разработанного КНИО, представлена на рис. 1.

Сбор и первичная обработка экспериментальной информации выполняется с помощью специально разработанного в КНИО программного пакета Meridian.

Экстензометр (датчик удлинения), изображенный на рис. 2, состоит из собственно датчика линейного перемещения дифференциально-трансформаторного типа (Schaevitz MHR 025) и рычажного механизма, преобразующего линейное перемещение игольчатых опор в перемещение сердечника датчика. В качестве опоры в этом механизме использован упругий шарнир, выполненный в виде балки постоян-

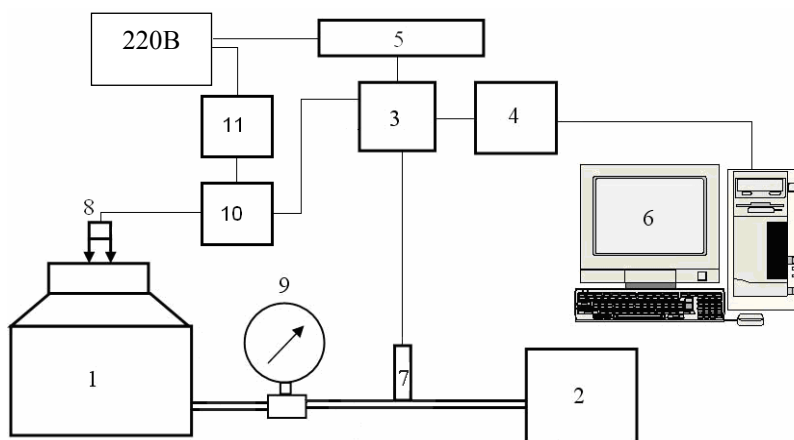


Рис. 1. Блок-схема комплекса для испытания оболочек при гидростатическом нагружении: 1 – установка для гидростатического нагружения оболочек; 2 – насосная станция (рабочее давление до 70 МПа); 3 – блок обработки информации; 4 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП L-CARD E-270); 5 – источник питания с выходным напряжением 24В; 6 – ЭВМ; 7 – датчик давления Schaevitz P9061; 8 – экстензометр (датчик измерения относительного удлинения); 9 – эталонный манометр; 10 – тензоусилитель (в случае применения экстензометра на основе тензорезисторов); 11 – источник питания с выходным напряжением 5В

ного сечения. Первичная обмотка датчика линейного перемещения Schaevitz MHR 025 запитывается переменным синусоидальным напряжением $U = 3$ В с частотой 5 кГц.

Упругий шарнир обеспечивает безлюфтовое перемещение рычагов и значительно уменьшает погрешность измерения при малых перемещениях, что упрощает изготовление, настройку и эксплуатацию экстензометра.

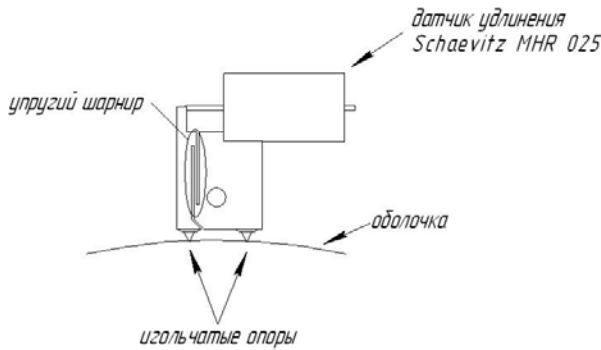


Рис. 2. Схема датчика измерения относительного удлинения на основе дифференциального трансформатора

На рычагах установлены опоры в виде конических игл, которые при испытании устанавливаются в углубления (лунки) на сферической поверхности оболочки. Для этого перед установкой экстензометра два углубления накерниваются с помощью специального шаблона на расстоянии друг от друга, равном базовой длине экстензометра. Применение игл обеспечивает практически точечный контакт с поверхностью оболочки и значительно уменьшает влияние трения. Поджатие игл датчика измерения деформации к испытываемой оболочке осуществляется при помощи груза цилиндрической формы. Деформация оболочки сопровождается изменением расстояния между иглами и соответствующим поворотом рычагов в упругом шарнире. Угловое перемещение рычагов преобразуется в поступательное перемещение сердечника датчика (Schaevitz MHR 025) и в соответствующее пропорциональное изменение выходного электрического сигнала. В результате измеряется относительная деформация базовой хорды, эквивалентная относительной деформации сегмента оболочки, опирающегося на данную хорду. Измерительный диапазон указанного экстензометра составляет 0,4 мм.

С целью увеличения измерительного диапазона был разработан кардинально новый датчик измерения относительной деформации с использованием тензорезисторов. Он состоит из рычажного механизма, преобразующего линейное перемещение игольчатых опор в пропорциональный изгиб упругого элемента, и приобретенных тензорезисторов КФ5П1-5-200-Б-12 номиналом 200 Ом. В качестве опоры в этом механизме использован упругий шарнир, выполненный в виде балки постоянного сечения.

Для измерения деформации, возникающей при изгибе упругого элемента, используются тензорезисторы, соединенные по мостовой схеме и наклеенные как изображено на рис. 4. Для повышения чувствительности экстензометра тензорезисторы наклеивались на внутреннюю и внешнюю поверхности упругого элемента. Схема соединения тензорезисторов представлена на рис. 3.

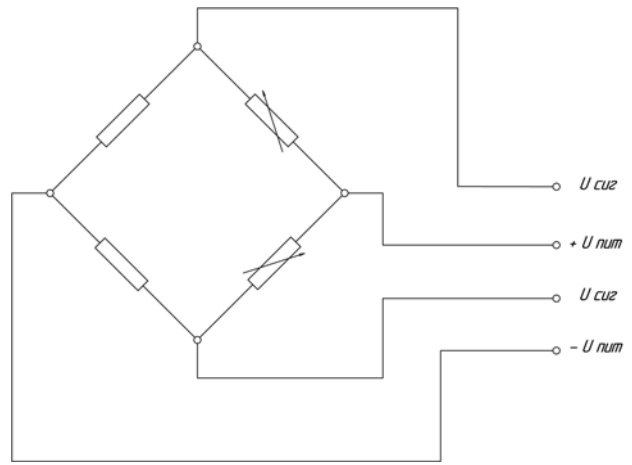


Рис. 3. Мостовая схема соединения тензорезисторов КФ5П1-5-200-Б-12

Упругий шарнир обеспечивает безлюфтовое перемещение рычагов и значительно уменьшает погрешность измерения при малых перемещениях, а также упрощает изготовление, настройку и эксплуатацию экстензометра.

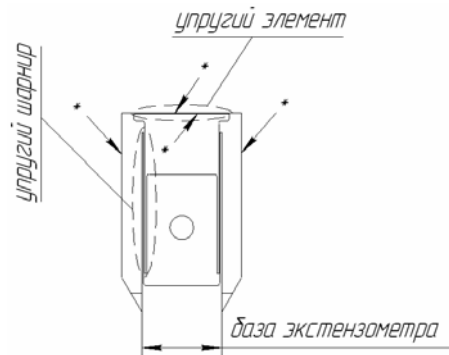


Рис. 4. Схема и внешний вид датчика для измерения удлинения на основе тензорезисторов КФ5П1-5-200-Б-12

Рычаги основания имеют игольчатые опоры, что обеспечивает практически точечный контакт с поверхностью оболочки и значительно уменьшает влияние трения. Поджатие игл датчика измерения деформации к испытываемой оболочке осуществляется при помощи груза цилиндрической формы. Деформация оболочки сопровождается изменением расстояния между иглами и соответствующим поворотом рычагов в упругом шарнире. Угловое перемещение рычагов преобразуется в изгиб упругого элемента (с наклеенными тензорезисторами КФ5П1-5-200-Б-12) и в соответствующее пропорциональное изменение выходного электрического сигнала. В результате измеряется относительная деформация базовой хорды, эквивалентная относительной деформации сегмента оболочки, опирающегося на данную хорду.

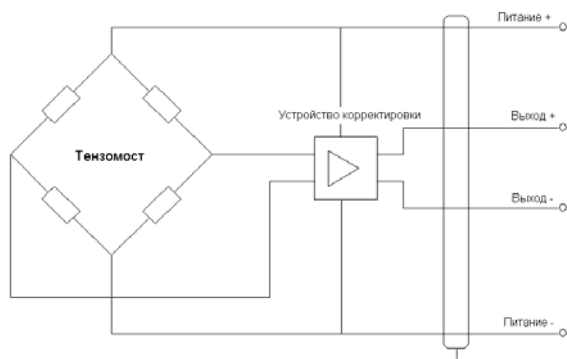


Рис. 5. Схема устройства датчика давления Schaevitz P9061

Датчик давления Schaevitz P9061 предназначен для измерения давления в диапазоне от 0 до 35 МПа при температуре окружающей среды от -54°C до 150°C . Датчик состоит из тензорезисторов, соединенных по мостовой схеме, и устройства корректировки и усиления выходного сигнала с тензомоста. Для работы датчика давления не требуется обработка выходного сигнала и соответствующие электронные устройства, что значительно упрощает схему, повышает ее точность и надежность. Схема датчика давления представлена на рис. 5.

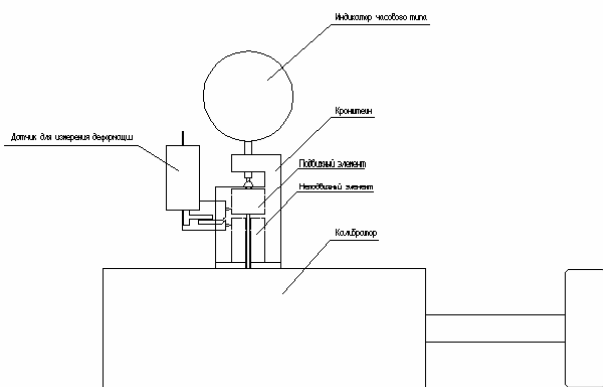


Рис. 6. Схема установки датчика для измерения деформации на универсальное калибровочное устройство

Определение характеристики датчика для измерения деформации производится на универсальном калибровочном устройстве (рис. 6), оснащённом для данной калибровки специальной оснасткой, включающей кронштейн, подвижный и неподвижный элементы и индикатор часового типа, соединённый с подвижным элементом и фиксирующим его перемещение. При калибровке одна из опор датчика устанавливается на подвижном элементе, а вторая – на неподвижном элементе в отверстия, имитирующие лунки на поверхности оболочки. Для поджима на калибровочном устройстве используются две пружины соответствующей жесткости, прижимающие датчик к подвижному и неподвижному элементам. Наличие жесткой механической связи между датчиком и индикатором часового типа позволяет отслеживать величину перемещения игл датчика. Показания датчика в виде электрического сигнала поступают на блок обработки информации, который имеет 6 каналов для датчиков деформации, 2 канала для датчиков давления Schaevitz и 1 канал для тензодинамометра. Каналы для датчиков деформации выполнены на основе микросхемы фирмы Analog Devices AD698. Функционально блок обработки информации выполняет следующее:

1. Подает на датчики напряжение возбуждения необходимой амплитуды и частоты.
2. Преобразует сигнал с датчика в постоянное напряжение, пропорциональное отклонению сердечника датчика, выполняет коррекцию и усиление сигнала.
3. Осуществляет передачу обработанных сигналов с датчиков на аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

АЦП (LCard E270) преобразует поступающие электрические сигналы с блока обработки информации в машинные коды и передает их по интерфейсу USB на персональный компьютер. На ПК при помощи программного обеспечения (Meridian) производится запись результатов эксперимента с созданием файла калибровки.

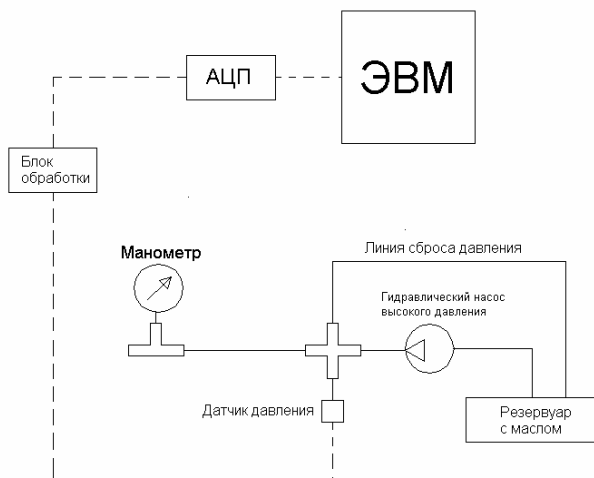


Рис. 7. Схема гидравлического калибровочного стенда для датчика давления Schaevitz P9061

Для проведения калибровки датчика давления Schaevitz P9061 был разработан гидравлический калибровочный стенд, схема которого представлена на рис. 7. Калибровка, с созданием файла калибровки, производится при помощи программного обеспечения Meridian.

Одновременно с калибровкой были исследованы основные характеристики экстензометра и датчика давления Schaevitz P9061. А именно:

- 1) линейность выходного электрического сигнала с датчиков;
- 2) наличие гистерезиса в выходных характеристиках экстензометра;
- 3) стабильность выходных характеристик (изменение тангенса угла наклона выходной характеристики от продолжительности работы измерительной системы).

При калибровке датчика измерения деформации получена выходная характеристика, представленная на рис. 8. При помощи пакета прикладных программ CRW выполнен анализ линейности полученной кривой. Отклонение полученной кривой от прямой линии составило 0,68 %. Полученное отклонение складывается из собственной нелинейности датчика, погрешности индикатора часового типа, которая для фактического диапазона измерений соответствует погрешности 0,25 % и наличием неизбежного незначительного трения в иглах.

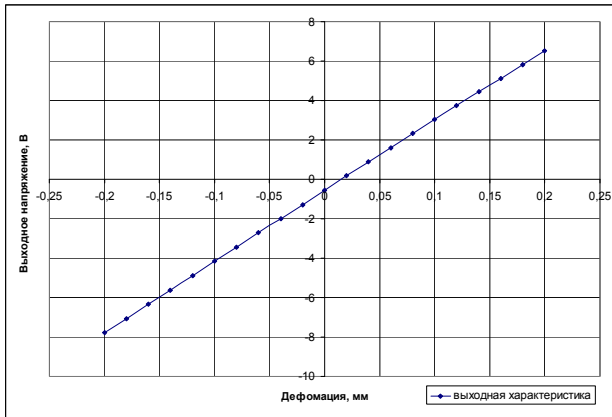


Рис. 8. Выходная характеристика экстензометра

Гистерезис (рис. 9) датчика деформации, который составляет 1 мкм при переходе нейтрального положения, выявляем путем проведения калибровки от -0,2 мм (нижнего края возможного диапазона деформации) до 0,2 мм (верхнего края возможного диапазона деформации) и в обратном направлении с построением выходных характеристик. Полученное значение гистерезиса является достаточно низким, и обусловлено конструктивными особенностями датчиков перемещения на основе дифференциального трансформатора. Данная погрешность может проявляться только при циклических испытаниях. Так как при испытании оболочек имеет место только одно-

сторонняя деформация, наличие гистерезиса на точность измерения не влияет.

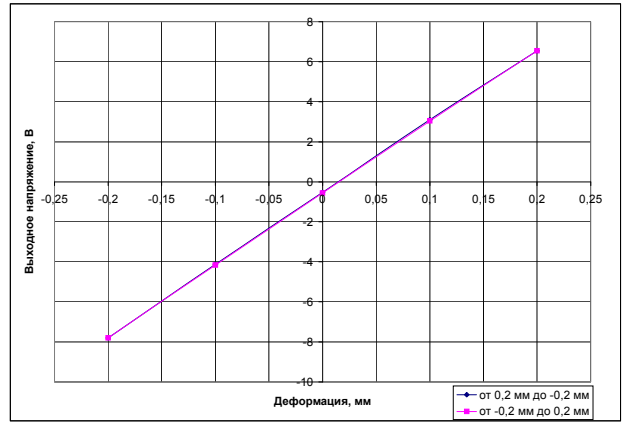


Рис. 9. Гистерезис выходных характеристик экстензометра

Для оценки стабильности выходных характеристик (т.е. изменения тангенса угла наклона выходной характеристики под влиянием прогрева аппаратуры при различной продолжительности работы измерительной системы) проведена серия калибровок с шагом по времени 5 мин. с момента подачи питания. Полученные графики представлены на рис. 10. Анализ полученных зависимостей показал, что изменение тангенса угла наклона выходных характеристик не превышает 0,16 % при различной продолжительности эксплуатации системы. Полученный результат свидетельствует о достаточно высокой стабильности характеристик измерительной системы и подтверждает правильность выбора элементной базы канала обработки информации экстензометра. В итоге, суммарная погрешность по каналу деформации составила 0,7 %.

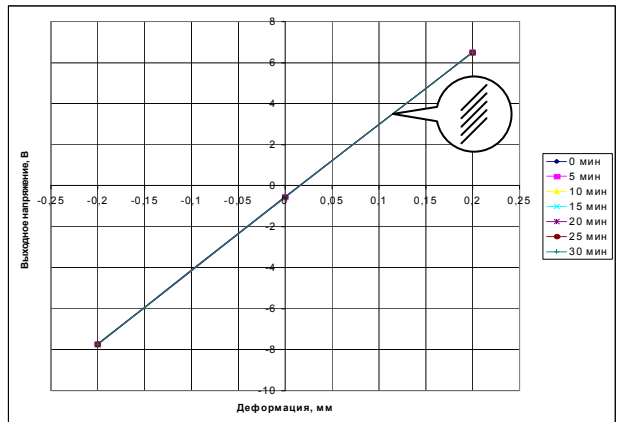


Рис. 10. Выходные характеристики экстензометра при разной продолжительности работы

После проведения калибровки датчика давления Schaevitz P9061 была получена выходная характеристика, представленная на рис. 11. Анализ полученной выходной характеристики в пакете прикладных программ CRW показал, что отклонение от линейно-

сти составляет 0,61 %. Полученное отклонение от линейности обусловлено наличием собственной нелинейности датчика давления и погрешности контрольного манометра, примененного на гидравлическом калибровочном стенде, которая составляет 0,4 %.

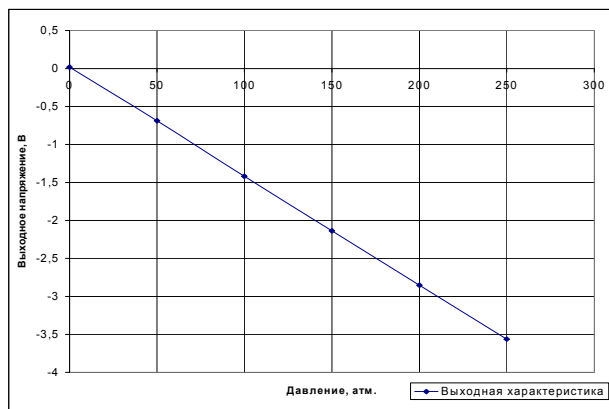


Рис. 11. Выходная характеристика датчика давления Schaevitz P9061

Для оценки стабильности выходных характеристик датчика давления (т.е. изменения тангенса угла наклона выходной характеристики под влиянием прогрева аппаратуры при различной продолжительности работы измерительной системы) проведена серия калибровок с построением выходных характеристик с шагом по времени 30 мин. с момента подачи питания. Полученные графики представлены на рис. 12. Анализ полученных выходных характеристик показал, что изменение угла наклона не превышает 0,56 % при различной продолжительности работы. Суммарная погрешность по каналу давления составила 0,83 %.

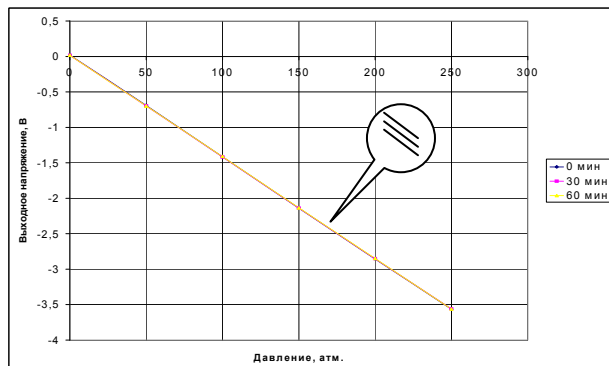


Рис. 12. Выходные характеристики датчика давления Schaevitz P9061 при разной продолжительности работы

По итогам проведенных исследований суммарная погрешность измерительного комплекса составляет 1,08 %, что значительно меньше по сравнению с погрешностью измерительных систем, применяемых при аналогичных исследованиях до настоящего времени.

Литература

1. Макаров Р. А., Ренский А. Б., Боркунский Г. Х., Этингоф М. И. Тензометрия в машиностроении. М.: Машиностроение. 1975.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа. 2001.
3. Зайцев С. А., Грибанов Д. Д., Толстов А. Н., Меркулов Р. В. Контрольно-измерительные приборы и инструменты. М.: Издательский центр «Академия». 2008.