

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО ЗАКОНА ИЗМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**А. И. Кириллов, Е. Ю. Шелковников, Т. Л. Рединова, А. А. Тимофеев,
Т. Ю. Метелева**

Институт механики УрО РАН,
ГБОУ ВПО «Ижевская государственная медицинская академия»,
г. Ижевск

Статья посвящена вопросам определения прочностных характеристик пломбировочных материалов при сохранении заданного закона изменения силовых нагрузок.

Ключевые слова: прочностные характеристики, формирователь нагрузки, пломбировочный материал, пьезоэлектрический преобразователь, тензорезистор

Для автоматизации испытаний пломбировочных материалов необходим формирователь нагрузки, имитирующий возвратно-поступательные движения жевательного процесса [1]. В качестве формирователя нагрузок используется пьезопреобразователь (ПП), который позволяет получать любой закон воздействия на объект исследования, например синусоидальный, пилообразный, трапецеидальный и др. В связи с тем, что прочностные испытания требуют больших временных затрат, то на значения деформаций объекта и приложенной силы могут повлиять динамические микрозазоры и необратимые микродеформации (дефекты), которые могут появиться во время длительных испытаний объекта при циклически изменяющейся

нагрузке. Необходимо также отметить, что при работе ПП с большими нагрузками силовое воздействие может изменяться нелинейно относительно приложенного к ПП напряжения. Это зависит от физико-механических свойств образца, ПП и от особенностей конструкции пьезоэлектрической силовой установки для проведения испытаний. В связи с этим разработка алгоритма обеспечения заданного закона изменения больших силовых нагрузок при прочностных испытаниях композитных пломбировочных материалов является актуальной.

На рисунке 1 приведена схема пьезоэлектрической установки для динамических испытаний пломбировочных материалов, а алгоритм ее работы – на рисунке 2.

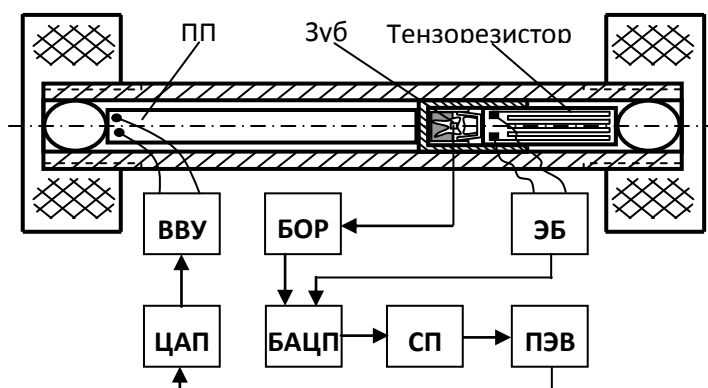


Рисунок 1 – Схема пьезоэлектрической установки для динамических испытаний пломбировочных материалов (где ЭБ – электронный блок; БОРМ – блок обнаружения начала разрушения пломбы; ВВУ – высоковольтный усилитель; БАЦП – блок АЦП; СП – сигнальный процессор)

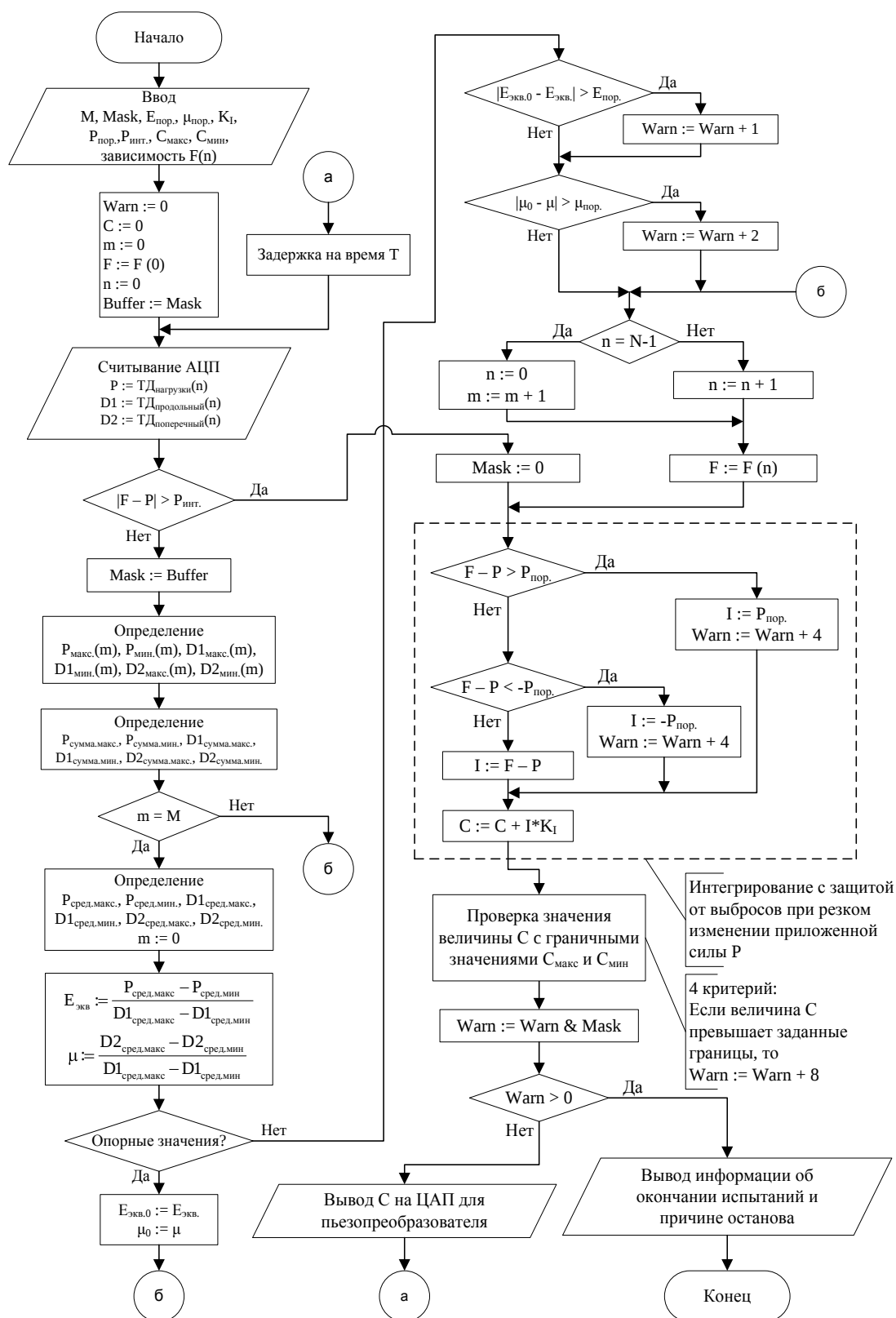


Рисунок 2 – Алгоритм обеспечения заданного закона изменения силовых нгагрузок при прочностных испытаниях пломбирочных материалов

Алгоритм работает следующим образом. Сначала задаются параметры: количество периодов M для усреднения, маска $Mask$ для отсеивания тех или иных критериев (число от 0 до 15), пороговые значения эквивалентного модуля Юнга $E_{пор}$ и коэффициента Пуассона $\mu_{пор}$, коэффициент пропорциональности для интегрирования K_i , пороговое значение для ПП $R_{пор}$, пороговое значение $R_{инт}$, границы для ЦАП $S_{макс}$ и $S_{мин}$, а также зависимость $F(n)$. Считывание информации с АЦП в блоке БАЦП осуществляется в начале работы алгоритма независимо от состояния ПП. Эти данные приводятся к системе Си умножением их на коэффициенты пропорциональности. Далее необходимо выполнить проверку: определить отличие заданного значения $F(0)$ от полученного $P(0)$. Если эта величина больше $R_{инт}$, то выполняется суммирование без генерации сигнала. При этом происходит обнуление маски $Mask$, чтобы исключить останов работы. В случае, если разница между $F(0)$ от полученного $P(0)$ меньше порогового $R_{инт}$, то осуществляется восстановление значения маски и выполнение вычисления максимумов и минимумов для каждого m -ого периода сигнала. Далее вычисляются суммы максимумов и минимумов для M -ых периодов сигнала. Если не отсчитано M периодов сигнала, то определяется следующий отсчет сигнала $F(n)$, иначе вычисляются средние значения сумм максимумов и минимумов. Вычисление эквивалентного модуля Юнга $E_{экв}$ и коэффициента Пуассона μ выполняется согласно выражениям (1) и (2). Запоминание опорных значений $E_{экв}$ и μ необходимо для определения критерия останова. Эти данные фиксируются в начале проведения испытаний. Далее разности полученных и опорных значений $E_{экв}$ и μ сравниваются с пороговыми. Если разность больше порогового значения, то это фиксируется в переменную $Warn$. Затем производится вычисление нового отсчета заданной зависимости $F(n)$. Проверка разности значений F и P выполняется с пороговым значением $R_{пор}$. Если абсолютная разность больше порогового значения, то это фиксируется в $Warn$. А также аргументу интегрирования I присваивается значение $R_{пор}$. Если же абсолютная разность меньше или равна пороговому значению, то аргументу I присваивается разность значений F и P . После суммирования значения I согласно формуле (7) формируется новое значение S для ПП. Далее проверяется значение S на граничные значения. Выход за границу фиксируется в переменной $Warn$. Маской $Mask$ с помощью

логической операции «И» осуществляется отсеивание/выбор из переменной $Warn$ критериев для останова. Если значение $Warn$ равно нулю, то испытания продолжаются и на ЦАП выводится преобразованное значение S . После задержки снова считывается значение с АЦП и цикл повторяется. Если $Warn$ больше нуля, то останов и вывод на ПЭВМ причины останова.

Алгоритм должен вычислять прочностные характеристики (модуль Юнга и коэффициент Пуассона) в динамике. Это позволит ввести для блока БОРМ критерии останова прочностных испытаний. В качестве опорных точек используется максимум и минимум приложенной нагрузки ($P_{макс}$ и $P_{мин}$), продольной ($D1_{макс}$ и $D1_{мин}$) и поперечной ($D2_{макс}$ и $D2_{мин}$) деформаций за один период сигнала. Необходимо отметить, что при вычислении этих максимумов и минимумов возможно влияние внешних помех, для уменьшения которого необходимо вычислять средние максимумы ($P_{сред.макс}$, $D1_{сред.макс}$ и $D2_{сред.макс}$) и минимумы ($P_{сред.мин}$, $D1_{сред.мин}$ и $D2_{сред.мин}$) за M периодов сигнала, а не за один. В связи с этим формулы для вычисления модуля Юнга и коэффициента Пуассона будут иметь вид (1) и (2):

$$E_{экв} = \frac{P_{сред.макс} - P_{сред.мин}}{D1_{сред.макс} - D1_{сред.мин}}; \quad (1)$$

$$\mu = \frac{D2_{сред.макс} - D2_{сред.мин}}{D1_{сред.макс} - D1_{сред.мин}}; \quad (2)$$

где $E_{экв}$ – эквивалентное значение модуля Юнга; μ – коэффициент Пуассона.

Необходимо отметить, что величина $E_{экв}$ не учитывает площадь сечения исследуемого образца и длину базы тензодатчика. Предполагается, что за время проведения испытания площадь сечения исследуемого образца и длина базы тензодатчика неизменны. В начале испытаний выбирается эквивалентное значение модуля Юнга и значение коэффициента Пуассона в качестве опорных значений для сравнения с ними в последующем. В качестве критерия используется абсолютная разность опорных и полученных значений. Если эта величина больше пороговой ($E_{пор}$ или $\mu_{пор}$), то испытания останавливаются. Останов испытаний по этим двум критериям решает оператор, задав маску $Mask$ в начале испытаний. Для генерации силового воздействия на объект исследования с возможно-

стью задания любого закона воздействия целесообразно использовать сигнальный процессор (СП). Это позволяет модернизировать программу управления в процессе эксплуатации при неизменной аппаратной части. В связи с этим закон воздействия представляется для дискретной системы, например, синусоида описывается следующим выражением:

$$F(n) = A \cdot \cos\left(\frac{n}{N} \cdot 2 \cdot \pi\right) + B, \quad (3)$$

где n – номер отсчета от 0 до $(N-1)$; N – общее количество отсчетов; A – амплитуда сигнала; B – смещение сигнала.

Зависимость $F(n)$ для сигнала треугольной формы выглядит следующим образом:

$$F(n) = \begin{cases} 2 \cdot A \cdot n, & n \leq \frac{N}{2}; \\ N - 2 \cdot A \cdot n, & n > \frac{N}{2}, \end{cases} \quad (4)$$

где n – номер отсчета от 0 до $(N-1)$; N – общее количество отсчетов; A – коэффициент пропорциональности.

Для поддержания заданного закона воздействия $F(n)$ необходимо выполнять суммирование ошибки $F(t) - P(t)$ по формулам для непрерывной и дискретной систем:

$$C = K_I \cdot \int_0^{\infty} [F(t) - P(t)] \cdot dt; \quad (5)$$

$$C = K_I \cdot \sum_{n=0}^{\infty} [F(n) - P(n)], \quad (6)$$

где C – значение напряжения на ПП; K_I – коэффициент пропорциональности.

Для дискретной системы формулу (6) можно записать в виде рекуррентной формулы:

$$C(n) = C(n-1) + K_I \cdot [F(n) - P(n)] \quad (7)$$

где $C(n-1)$ – значение напряжения для пьезопреобразователя на предыдущем отсчете алгоритма.

Независимо от величины коэффициента K_I абсолютная разность $F(n) - P(n)$ может

быть большой. Это может привести к ударному явлению для пьезопреобразователя и сократить его срок службы. С целью уменьшения «удара» необходимо ввести пороговое значение ($P_{\text{пор.}}$) на разность $F(n) - P(n)$. Подобный «удар» может возникнуть при разрушении образца, вследствие чего приложенная нагрузка уменьшается и разность $F(n) - P(n)$ увеличивается. Это используется в качестве третьего критерия останова испытаний.

В связи с тем, что абсолютное значение напряжения C на реальной системе не может быть очень большим, необходимо ввести проверку значения C на минимум ($C_{\text{мин}}$) и максимум ($C_{\text{макс}}$). Выход значения C за максимум и минимум можно также использовать в качестве четвертого критерия для останова испытаний, так как при этом закон воздействия на образец будет отличаться от заданного. Преобразованное значение C выводится на ПП через ЦАП.

В целом можно отметить, что разработанный алгоритм позволяет обеспечить заданный закон изменения больших силовых нагрузок и имеет четыре критерия останова испытаний образца. Критерии выбираются оператором при помощи маски: 1) по эквивалентному значению модуля Юнга ($E_{\text{пор.}}$); 2) по значению коэффициента Пуассона ($\mu_{\text{пор.}}$); 3) по изменению приложенной нагрузки ($P_{\text{пор.}}$); 4) по напряжению для ПП ($C_{\text{макс}}$ и $C_{\text{мин}}$). При этом температурный дрейф для тензодатчиков (которые измеряют продольную и поперечную деформации) не будет оказывать влияния, так как вычисляются разности максимумов и минимумов. Тензодатчики для измерения приложенной нагрузки P должны быть термокомпенсированы, так как это влияет на результат суммирования. Программная реализация алгоритма дает возможность его дальнейшего усовершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наймушин Ю. Н., Рединова Т. Л., Тимофеев А. А., Метелева Т. Ю., Ефремов С. М., Морозов А. В., Шелковников Ю. К., Кириллов А. И. Устройство для прочностных испытаний пломбировочных материалов и пломб дефектных зубов // Патент РФ на полезную модель №114843 МПК А61С19/04; опубл. 20.04.2012, бюл. №11.
2. Е.Ю. Шелковников, А.И. Кириллов, С.М. Ефремов, Т.Л. Рединова, А.А.Тимофеев, Т.Ю. Метелева Установка с силовым пьезоэлектрическим преобразователем для исследования прочностных характеристик пломбировочных материалов // Ползуновский вестник – 2013, №2

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО ЗАКОНА ИЗМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПРОЧНОСТНЫХ
ИСПЫТАНИЯХ ПЛОМБИРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кириллов Андрей Игоревич – м.н.с., тел.: 8-922-6869191, e-mail: pattl7@mail.ru; Шелковников Евгений Юрьевич – д.т.н., зав. лаб., e-mail: evshelk@mail.ru; Рединова Татьяна Львовна,

д.м.н., профессор, зав. каф., e-mail efsemi@mail.ru; Тимофеев Антон Анатольевич, аспирант; Метелева Татьяна Юрьевна, аспирант