

УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ НЕРАВНОМЕРНОГО ОТСЛАИВАНИЯ КЛЕЕВОГО СЛОЯ ГИБКИХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ЖЕСТКОЙ ПЛАСТИНЫ

DEVICE FOR DETERMINING THE FORCE OF UNEVEN PEELING OF THE ADHESIVE LAYER OF FLEXIBLE MATERIALS FROM A RIGID PLATE

УДК 681.17

М.Г. Киселев*, П.С. Богдан, С.Г. Мониц, Я.В. Янкина

Белорусский национальный технический университет

<https://doi.org/10.24411/2079-7958-2020-13804>

M. Kiselyov*, P. Bohdan, S. Monich, Ja. Jankina

Belarusian National Technical University

РЕФЕРАТ

ГИБКИЙ КЛЕЯЩИЙСЯ МАТЕРИАЛ, УСИЛИЕ ОТСЛАИВАНИЯ

Одним из важнейших эксплуатационных показателей гибких клеящих материалов является усилие отслаивания от жесткой подложки. Наиболее распространенным методом определения этого параметра является метод неравномерного отслаивания гибкого материала от жесткой пластины под углом 90° . Применяемые на сегодня устройства для определения этого параметра в силу конструктивных особенностей не обеспечивают высокую точность измерения усилия отслаивания. В данной работе теоретически обоснован и экспериментально подтвержден способ определения усилия отслаивания гибкого материала от жесткой пластины с саморегулируемым поддержанием угла отслаивания, равным 90° . В результате проведенных экспериментальных исследований с использованием медицинского пластыря установлено, что разработанное устройство позволяет четко фиксировать и измерять с высокой точностью усилие отслаивания гибкого материала от жесткой пластины с саморегулирующим поддержанием угла отслаивания, равным $90 \pm 3^\circ$.

ABSTRACT

FLEXIBLE ADHESIVES, EXFOLIATION FORCE

One of the most important performance indicators of flexible adhesives is the peeling force from the rigid substrate. The most common method for determining this parameter is the method of uneven peeling of flexible material from a rigid plate at an angle of 90° . Devices used today to determine this parameter do not provide high accuracy of measuring the peeling force due to design features. In this paper, a method for determining the exfoliation force of flexible material from a rigid plate with self-regulating maintenance of the exfoliation angle equal to 90° is theoretically justified and experimentally confirmed. As a result of experimental studies using a medical patch, it was found that the developed device allows clearly recording and measuring with high accuracy the exfoliation force of flexible material from a rigid plate with self-regulating maintenance of the exfoliation angle equal to $90 \pm 3^\circ$.

Статья посвящена созданию устройства определения усилия неравномерного отслаивания клеевого слоя гибких материалов от жесткой пластины, обеспечивающего саморегулируемое поддержание угла отслаивания, равного 90° . Показано, что для реализации этого условия необходимо, чтобы в процессе отслаивания под дей-

ствием тангенциальной составляющей усилия отслаивания, возникающей при отклонении угла отслаивания от 90° , происходило соответствующее перемещение в горизонтальном направлении каретки с пластиной и наклеенным образцом, обеспечивающее восстановление угла отслаивания в 90° . Дано описание конструкции

* E-mail: kiselev.maikl@gmail.com (M. Kiselyov)

каретки с направляющими качения и представлены результаты экспериментов по определению усилия, необходимого для начала ее движения. Приведено описание конструкции созданного устройства определения усилия неравномерного отслаивания клеевого слоя гибких материалов от жесткой пластины. Представлены и проанализированы результаты экспериментов по отслаиванию медицинского пластыря от пластины из стеклотекстолита. Установлено, что движение каретки, обеспечивающее саморегулируемое поддержание угла отслаивания, происходит дискретно с величиной относительного перемещения порядка 3–5 мм, при этом отклонение угла отслаивания от значения 90° в среднем составляет ±3°. Получены осциллограммы, на которых четко фиксируется величина и характер изменения усилия отслаивания за время проведения испытаний, что подтверждает перспективность практического использования созданного устройства как для проведения испытаний, так и для исследования процесса неравномерного отслаивания гибких материалов от жесткой пластины.

ВВЕДЕНИЕ

Гибкие материалы, покрытые с одной стороны тонким липким слоем (адгезивом), находят очень широкое применение в технике, медицине и быту. К ним относятся клейкая лента, или скотч, которая представляет собой узкую гибкую пленку с нанесенным клеевым покрытием. Сама лента изготавливается из бумаги, полиэтилена, ПВХ, фольги и других материалов, а клеящий состав имеет акриловую или каучуковую основу [1, 2]. Клейкая лента является удобным и недорогим материалом, поэтому используется в самых различных целях.

В медицине широко применяются пластыри, которыми, согласно [3], называют перевязочные средства пластырного типа, представляющие собой основу из полимерных или текстильных материалов, покрытых с одной стороны тонким липким слоем (адгезивом) пластырной массы натурального или синтетического происхождения, которая может включать в себя лекарственные вещества.

Важным эксплуатационным показателем данных изделий является их адгезионная прочность, которая оценивается величиной приложенного

внешнего усилия, приводящего к разрушению адгезионного соединения. Для определения этого параметра используются различные методы [3–6], среди которых наибольшее распространение получили методы неравномерного отрыва (отслаивания, расслаивания). Общим признаком для них является то, что нарушение связи между адгезивом и субстратом происходит за счет внешнего усилия, прикладываемого не к центру соединения, а к одному его краю, в результате чего связь нарушается постепенно. Разделение двух гибких материалов называют расслаиванием, а отделение гибкого материала от жесткого – отслаиванием. На рисунке 1 приведены схемы испытаний гибких материалов методом неравномерного отрыва.

Методы неравномерного отрыва позволяют выявить колебания в величине адгезии на отдельных участках испытуемого образца и обеспечивают достаточно хорошую воспроизводимость результатов, по которым рассчитывается значение удельной силы отслаивания $F_{отс}$ по формуле

$$F_{отс} = \frac{F_{отс\ max}}{b}, \quad (6)$$

где $F_{отс\ max}$ – максимальная сила отслаивания пробной полоски, Н; b – ширина отслаиваемого участка пробной полоски, м.

На сегодня известны различные конструкции устройств для проведения испытаний по отслаиванию гибких материалов [7–9]. Следует подчеркнуть, что при их проведении по схеме, представленной на рисунке 1 а, для сохранения постоянного угла отслаивания, равного 90°, в конструкции устройств предусматривается узел, обеспечивающий равенство скорости перемещения свободного конца образца в вертикальном направлении (V_v) и скорости перемещения жесткой подложки в горизонтальном направлении (V_g). Достигается это путем применения соответствующей кинематической связи между приводом перемещения свободного конца образца в вертикальном направлении и приводом перемещения жесткой подложки в горизонтальном направлении.

Однако наличие такой связи оказывает суще-

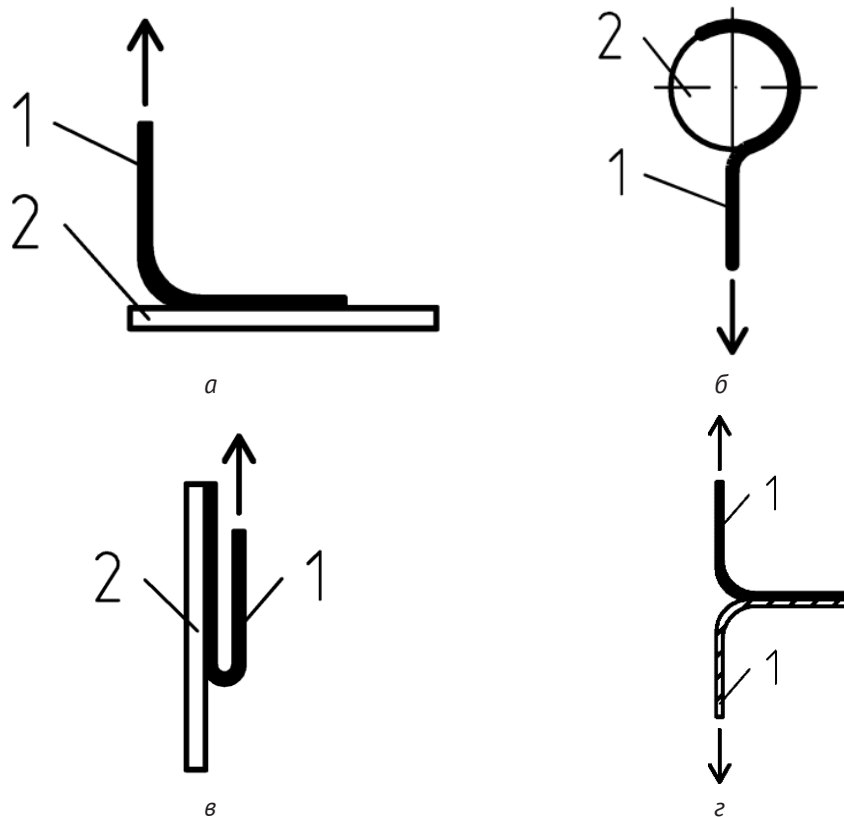


Рисунок 1 – Схемы испытаний по отслаиванию гибкого материала 1 от жесткой подложки 2 под углом 90° (а, б) и под углом 180° (в) и по расслаиванию гибких материалов (г)

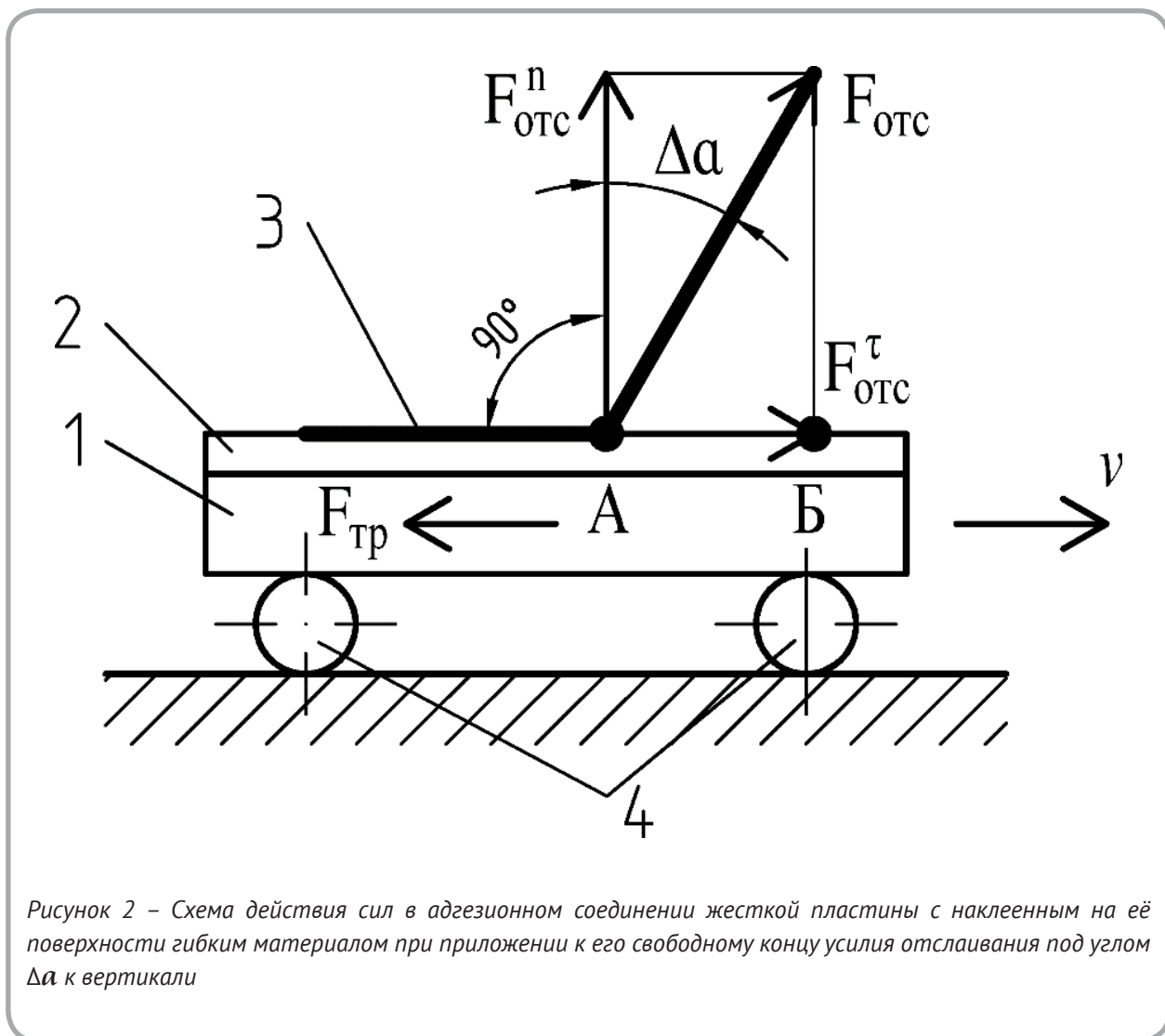
ственное влияние на условия отрыва гибкого образца от жесткой подложки, и, в первую очередь, на колебания усилия отрыва, обусловленными дискретностью нарушения адгезионной связи и упругими деформациями свободного конца материала образца в процессе его отслаивания.

Очевидно, для устранения этого недостатка необходимо использовать устройства, в которых в процессе отслаивания образца от жесткой подложки обеспечивается саморегулируемое поддержание угла отслаивания, равного 90°, что позволит повысить точность определения усилия отслаивания.

Исходя из этого, цель данной работы заключалась в создании такого устройства и экспериментальном подтверждении возможностей его практического применения для проведения испытаний по определению усилия неравномерного отслаивания гибких материалов от жесткой подложки, имеющей форму пластины.

Разработка и создание устройства определения сопротивления отслаиванию гибких материалов от жесткой пластины с саморегулируемым поддержанием угла отслаивания 90°

Как известно [10–11], при приложении внешнего усилия к одному концу испытуемого гибкого материала под его действием в адгезионном соединении возникают нормальные и тангенциальные напряжения, приводящие к его разрушению. Учитывая это, обратимся к схеме действия сил в адгезионном соединении (рисунок 2) жесткой пластины 2, закрепленной на каретке 1, установленной на направляющих качения 4, с наклеенным на ее поверхности гибким материалом 3. К его свободному концу приложено внешнее усилие отслаивания $F'_{омс}$, действующее под углом $\Delta\alpha$ к вертикали, который незначительно отличается от 90°.



В этом случае усилие отслаивания $F_{отс}$ может быть разложено на две составляющие: нормальную $F_{отс}^n$, действующую под углом 90° к поверхности жесткой пластины, и тангенциальную $F_{отс}^\tau$, направленную горизонтально. Величины этих составляющих усилия отслаивания определяются по следующим зависимостям

$$F_{отс}^n = F_{отс} \cdot \cos \alpha / 2, \quad (2)$$

$$F_{отс}^\tau = F_{отс} \cdot \sin \alpha / 2. \quad (3)$$

Очевидно, чтобы происходило саморегули-

руемое поддержание угла отслаивания, равного 90° , необходимо, чтобы в процессе отслаивания каретка вместе с пластиной и наклеенным образцом под действием тангенциальной составляющей усилия отслаивания $F_{отс}^\tau$ переместилась из точки A в точку B . Для этого величина $F_{отс}^\tau$ должна превышать значение сил трения $F_{мп}$, действующих в направляющих каретки, то есть $F_{отс}^\tau > F_{мп}$. При этом следует учитывать, что $F_{мп}$ представляет собой силу трения покоя, и её величина соответствует моменту перехода каретки из неподвижного состояния к движению вдоль горизонтальной оси. Очевидно, это перемещение каретки не будет равномерным, что обусловлено дискретным характером разрушения адгезионного соединения, а величина и частота ее перемещения будут определяться со-

отношением между величиной тангенциальной составляющей силы отслаивания $F_{отс}^{\tau}$ и максимальной величиной силы трения покоя $F_{трmax}^{\tau}$. При прочих равных условиях значение $F_{трmax}^{\tau}$ определяется потерями на трение в направляющих качения каретки.

Для её определения была проведена отдельная серия экспериментов, сущность которых поясняется схемой, представленной на рисунке 3.

Конструкция каретки имеет две неподвижные стальные оси 6, на концах которых установлены по два радиальных шарикоподшипника 5 и 8. Один из них (5) имеет больший наружный диаметр и контактирует с пластиной, закреплённой на основании 7, а второй (8), имеющий меньший диаметр, контактирует с прижимной планкой 9, что исключает смещение каретки в вертикальном направлении в процессе проведения экспериментов по отслаиванию.

Определение величины усилия, необходимо для перемещения каретки, осуществлялось следующим образом. Один конец жесткой нити 2, переброшенный через вращающийся блок 3,

прикреплялся к корпусу каретки 1 массой 400 г, а на другом её конце подвешивался пластмассовый цилиндр шприца однократного применения емкостью 20 мл с закрытым с помощью пластика выходным отверстием.

При неподвижном состоянии каретки с помощью шприца, заполненного водой, последняя медленно выдавливалась в полость цилиндра, подвешенного на нити, связанной с кареткой. В момент начала её движения фиксировалась масса воды в полости цилиндра, которая в сумме с массой цилиндра соответствовала значению усилия, необходимого для начала движения (трогания) каретки. В результате десятикратного повторения этих экспериментов при различном расположении каретки по длине направляющих установлено среднее значение усилия, необходимого для начала её движения, которое составило 0,12 Н. Исходя из этого, в конструкцию устройства для определения усилия отслаивания, введён узел предварительного нагружения каретки усилием 0,12 Н.

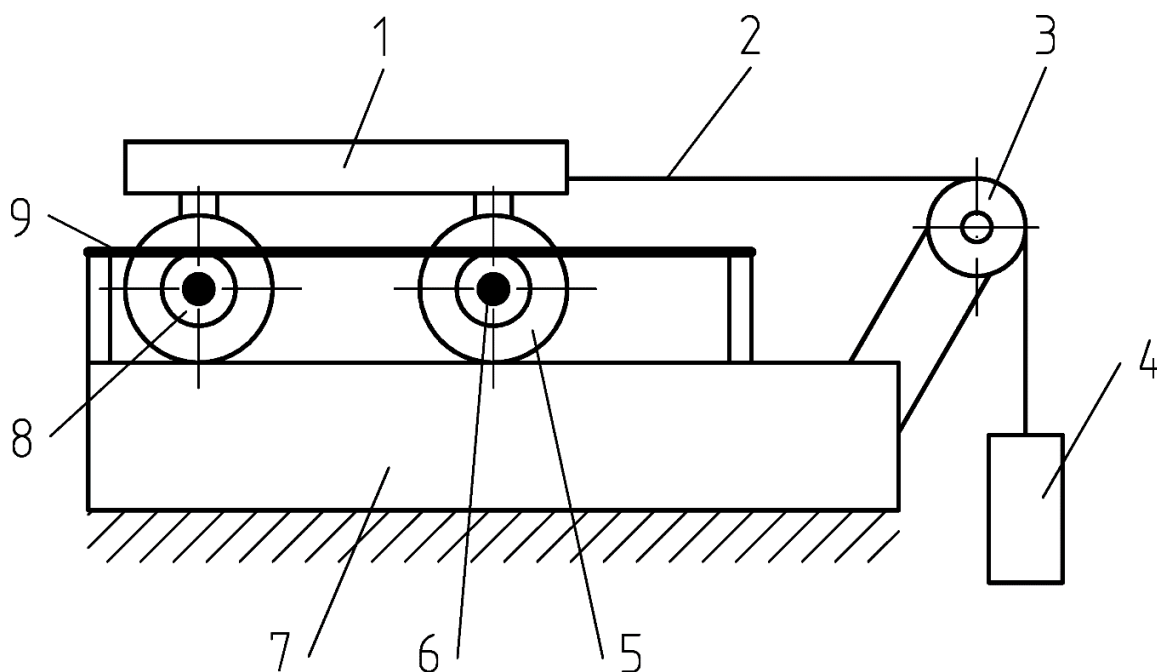


Рисунок 3 – Основные элементы подвижной каретки и схема определения усилия, необходимого для начала её движения

На рисунке 4 приведена принципиальная схема созданного устройства определения усилия отслаивания образца гибкого материала от жесткой пластины с саморегулируемым поддержанием угла отслаивания.

На массивном основании 1 на подшипниках качения 16 смонтирована подвижная горизонтальная каретка 2, на которой с помощью резьбовых прихватов закреплена жесткая пластина 3. На её поверхности приклеен испытуемый образец гибкого материала 4, свободный конец которого закреплен в захвате 5. Посредством зацепов 6 последний жестко связан с тензометрическим датчиком усилия 7, который закреплен на каретке 8. На вертикальной стойке 14 устройства, которая для придания ей большей жесткости дополнительно соединена с основанием планкой 15, закреплен электродвигатель

постоянного тока 10 с встроенным редуктором, вал которого посредством муфты 11 соединён с ходовым винтом 12. При вращении последнего с помощью передачи «винт-гайка» 13 каретке сообщается поступательное движение в направлении вертикальной оси по направляющим скольжения 9, которое создаёт усилия отслаивания испытуемого образца от жесткой пластины. Величина этого усилия за время отслаивания фиксируется тензометрическим датчиком и далее через усилитель подаётся на цифровой запоминающий осциллограф UTD2052CL. Изменение направления движения каретки обеспечивается реверсированием вращения вала электродвигателя, а регулирование скорости её движения – изменением напряжения, подаваемого на него от блока питания UT3005E-3.

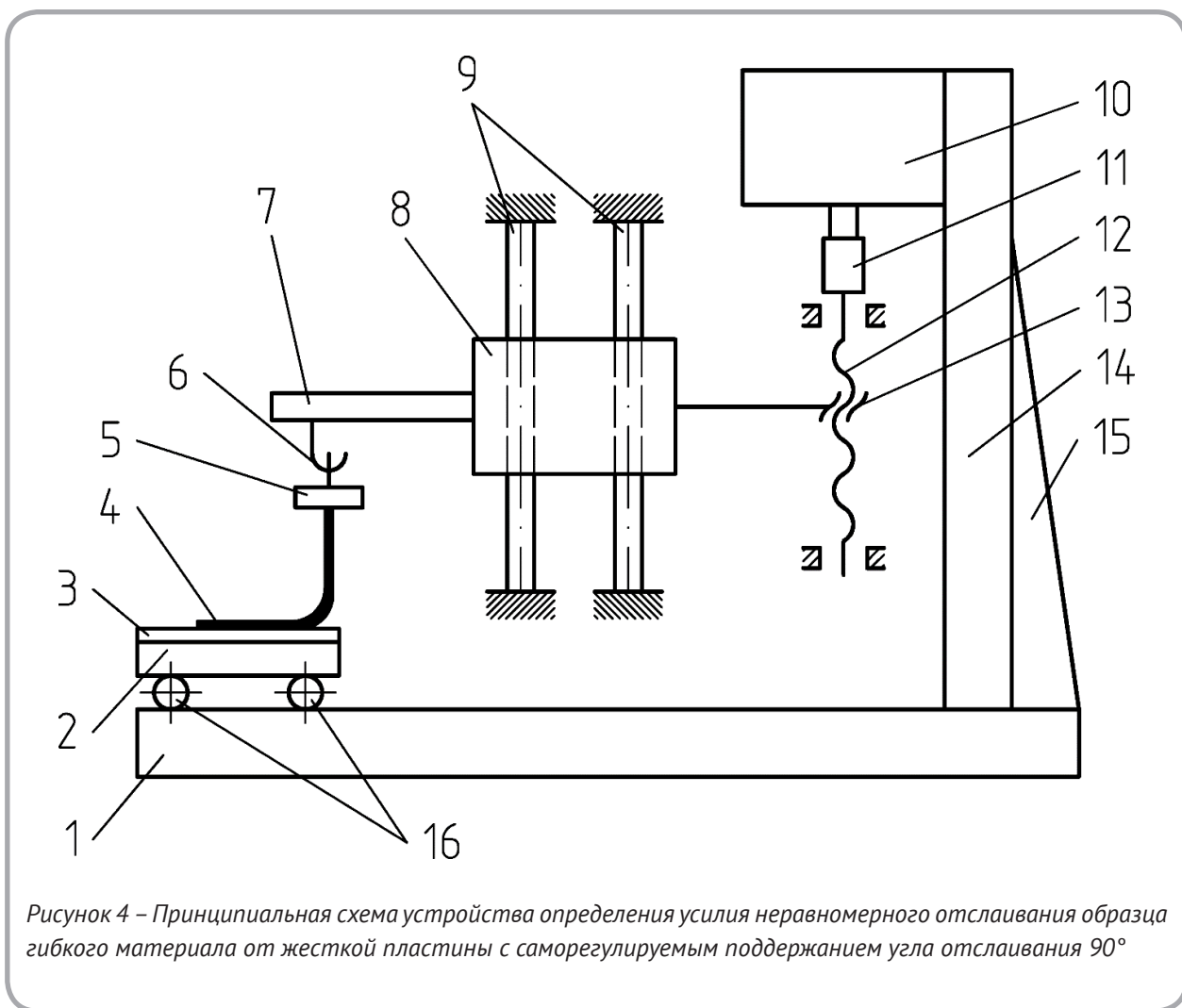


Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства определения усилия неравномерного отслаивания образца гибкого материала от жесткой пластины с саморегулируемым поддержанием угла отслаивания 90°

Тарировка измерительной системы осуществляется путем подвешивания аттестованных грузов к захвату, связанному с тензометрическим датчиком усилия. В результате её проведения устанавливается количественная зави-

симость между массой грузов и показаниями осциллографа.

Фотография общего вида созданного устройства с указанием его основных элементов представлена на рисунке 5.

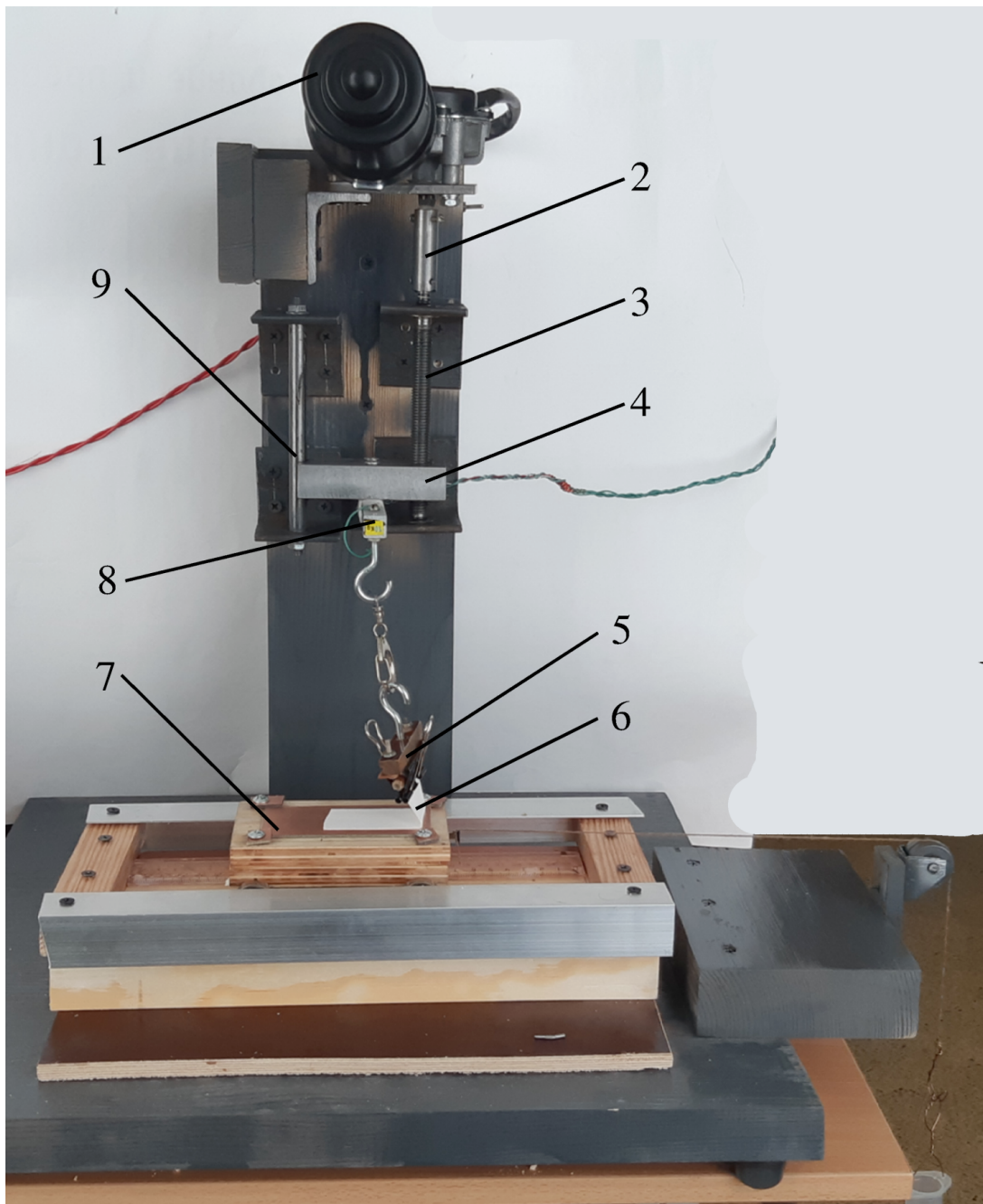


Рисунок 5 – Фотография общего вида созданного устройства:

1 – электродвигатель постоянного тока; 2 – муфта; 3 – ходовой винт; 4 – каретка вертикальная; 5 – захват; 6 – образец испытуемого пластыря; 7 – подвижная горизонтальная каретка; 8 – тензометрический датчик усилия; 9 – направляющие скольжения

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Объектом испытания служил медицинский лейкопластырь на основе хлопчатобумажной ткани шириной 30 мм. Предварительно из катушки нарезались образцы пластыря длиной 100 мм. В качестве жесткого основания использовалась пластина из фольгированного медью стеклотекстолита, поверхность которой перед каждым экспериментом тщательно обезжиривалась с помощью тампона, смоченного ацетоном. Затем на эту поверхность наклеивался образец пластыря с получением клевого соединения длиной 60 мм, которое с помощью стального цилиндра массой 1 кг прокатывалось пять раз в одну сторону и пять раз в другую. После этого пластина с испытуемым образцом пластыря с помощью винтовых прихватов закреплялась на горизонтальной каретке устройства. Свободный конец образца наматывался на оправку диаметром 7 мм, которая затем неподвижно фиксировалась в пружинном зажиме.

По завершению этих подготовительных действий на блоке питания устанавливалось необходимое значение напряжения питания электродвигателя, которому соответствует требуемая скорость перемещения свободного конца образца испытуемого пластыря. Затем включался электродвигатель на выполнение процедуры отслаивания образца испытуемого пластыря от пластины с непрерывной регистрацией на экране осциллографа усилия отслаивания за время проведения эксперимента. Одновременно весь процесс отслаивания фиксировался с помощью цифровой видеокамеры Panasonic VT160.

В результате анализа полученных видеоматериалов установлено, что в процессе отслаивания перемещение каретки в горизонтальном направлении, которое обеспечивает саморегулируемое поддержание угла отслаивания, происходит дискретно. Это объясняется дискретным характером разрушения адгезионных связей в соединении пластыря с пластиной, что, в свою очередь, приводит к возникновению переменных упругих деформаций свободного участка пластыря под действием приложенного к его концу растягивающего усилия. Величина однократного перемещения каретки составляет порядка 3–5 мм, а частота их следования зависит

от скорости отслаивания, с увеличением которой она возрастает. При этом количество дискретных перемещений каретки за время испытания остается практически неизменным и составляет 20–25 раз.

Измерения по полученным фотографиям угла отслаивания в процессе проведения испытаний (рисунок 6) показали, что его отклонение от значения 90° в среднем составляет $\pm 3^\circ$, что свидетельствует о высокой эффективности предложенного способа его саморегулируемого поддержания в процессе неравномерного отслаивания гибкого материала от жесткой пластины.

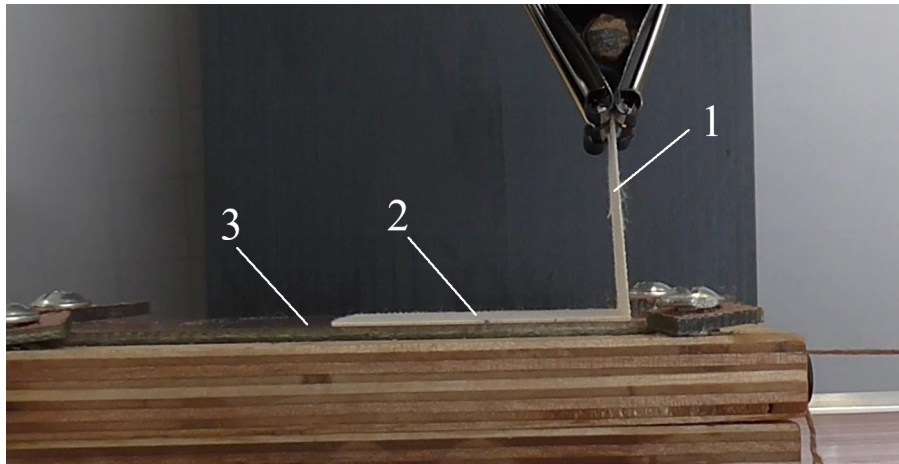
На рисунке 7 приведены экспериментально полученные осциллограммы изменения усилия отслаивания образца испытуемого пластыря от поверхности пластины при трех значениях скорости отслаивания V_{omc} .

Анализ представленных осциллограмм свидетельствует о том, что применение созданного устройства с саморегулируемым поддержанием угла отслаивания позволяет четко фиксировать величину и характер изменения усилия отслаивания за время проведения испытания. В частности, определить амплитуду и частоту колебаний усилия отслаивания, значения которых с увеличением скорости отслаивания возрастают.

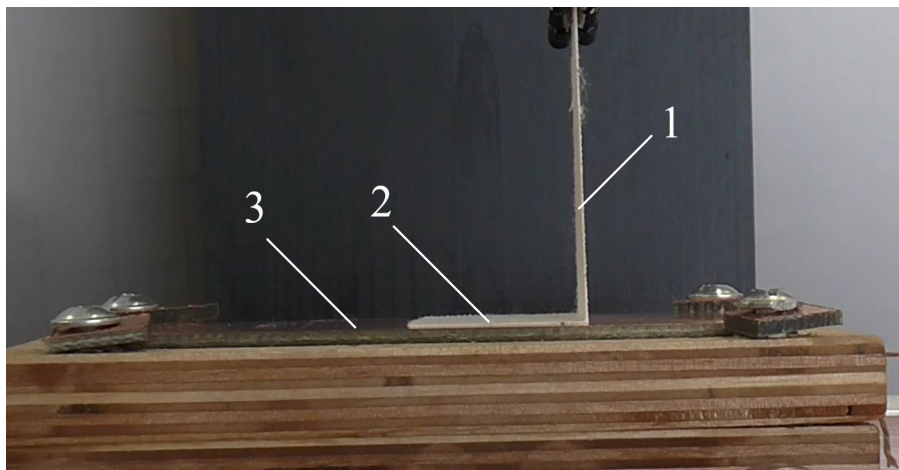
Таким образом, результатами проведенных экспериментальных исследований подтверждена целесообразность практического использования, созданного устройства с саморегулируемым поддержанием требуемого угла отслаивания как для проведения испытаний, так и для исследования процесса отслаивания гибких материалов от жесткой пластины под углом 90°.

ВЫВОДЫ

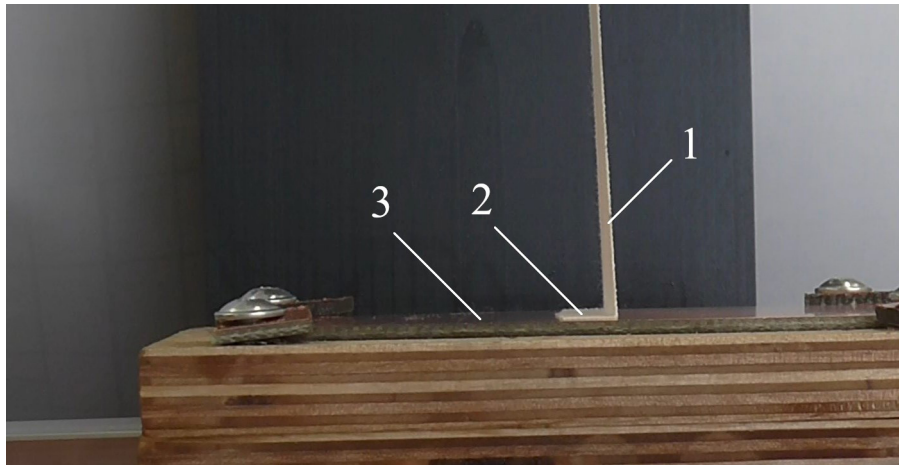
1. Показано, что в процессе неравномерного отслаивания гибкого образца от жесткой пластины при отклонении направления усилия отслаивания F_{omc} от 90° возникает тангенциальная составляющая этого усилия F_{omc}^{τ} , которая может быть использована для саморегулируемого поддержания угла отслаивания, равного 90°. Для этого необходимо, чтобы под действием F_{omc}^{τ} произошло перемещение жесткой пластины в горизонтальном направлении на величину, при которой угол отслаивания станет равным 90°, а F_{omc}^{τ} примет нулевое значение.



а

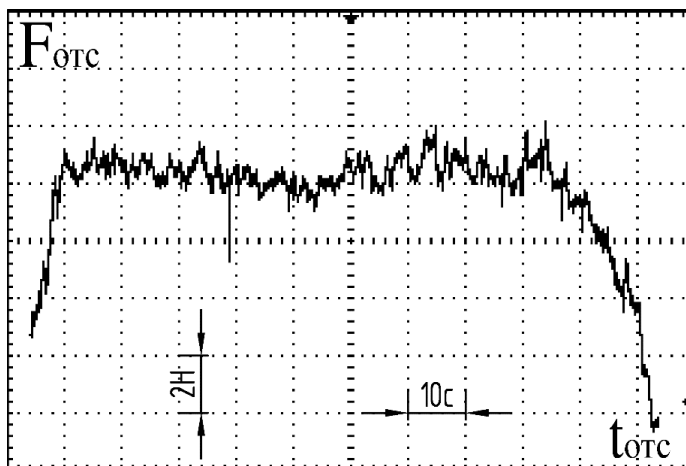


б

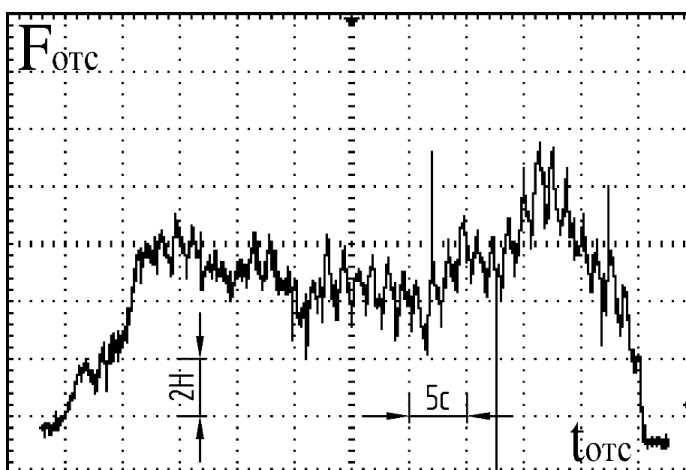


в

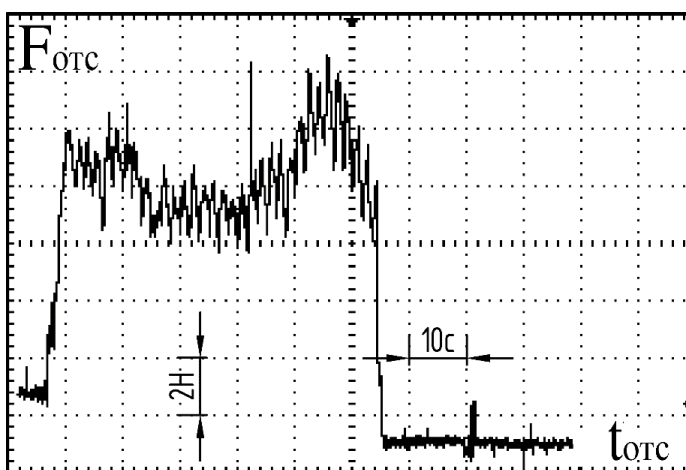
*Рисунок 6 – Фотографии положения свободного конца испытуемого пластыря относительно вертикали на различных стадиях его отслаивания от жесткой пластины:
1 – свободный конец пластыря; 2 – наклеенный участок пластыря; 3 – жесткая пластина;
а – при величине отслаивания 10 мм; б – при величине отслаивания 20 мм; в – при величине отслаивания 30 мм*



а



б



в

Рисунок 7 – Осциллограмма изменения усилия отслаивания образца испытуемого пластира от поверхности пластины при трех значениях скорости отслаивания $V_{отс}$:
 а – $V_{отс} = 36$ мм/мин; б – $V_{отс} = 72$ мм/мин; в – $V_{отс} = 108$ мм/мин

2. Для реализации этого требования предложено закрепить жёсткую пластину с наклеенным на её поверхности испытуемым образцом гибкого материала на подвижной каретке, установленной на направляющих качения, обеспечивающих её перемещение в горизонтальном направлении с малой величиной сил трения. В результате в момент, когда $F_{омс}^{тр}$ превышает величину силы трения покоя каретки $F_{трmax}^{покоя}$, произойдет её саморегулируемое перемещение в горизонтальном направлении на величину, при которой составляющая усилия отслаивания $F_{омс}^{тр}$ станет равной нулю, а угол отслаивания составит 90° .

3. Создано устройство определения усилия неравномерного отслаивания образца гибкого материала от жесткой пластины, которая крепится на подвижной в горизонтальном направлении каретке, установленной на направляющих качения, обеспечивающих, благодаря малой величине сил трения, саморегулируемое поддержание в процессе испытания угла отслаивания, равного 90° .

4. По результатам проведенных экспериментальных исследований установлена средняя по десяти измерениям величина усилия, прикладываемого к каретке массой 400 г в горизонтальном направлении, необходимого для начала её движения, которая составила 0,12 Н.

5. В результате анализа видеоматериалов протекание процесса неравномерного отслаивания образца медицинского пластыря от поверхности пластины из стеклотекстолита установлено, что перемещение каретки, обеспечивающее саморегулируемое поддержание требуемого угла отслаивания, равного 90° , происходит дискретно с величиной шага перемещения от 3 до 5 мм. При этом максимальное отклонение угла отслаивания от 90° составляет $\pm 3^\circ$, что свидетельствует о возможности практического использования предложенного метода саморегулируемого поддержания требуемого угла отслаивания.

6. С использованием созданного устройства проведена серия экспериментов по неравномерному отслаиванию образца медицинского пластыря от пластины из стеклотекстолита при трех значениях скорости отслаивания. Получены осциллограммы, на которых четко фиксируется величина и характер изменения усилия отслаивания $F_{омс}$ за время проведения испытания, включая амплитуду и частоту колебаний $F_{омс}$ при различной скорости отслаивания. В результате подтверждена перспективность практического применения созданного устройства с саморегулируемым поддержанием угла отслаивания в 90° как для проведения испытаний, так и для исследования процесса неравномерного отслаивания гибких материалов от жесткой пластины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 53498-2013. *Изделия медицинские пластырного типа. Общие технические требования. Методы испытаний*, введ. 05.01.20, (2019), Москва, Стандартинформ.
2. ГОСТ 28966.2-91. *Клеи полимерные. Метод определения прочности при отслаивании*, введ. 01.01.92, (2004), Москва, Издательство стандартов.
3. ГОСТ Р 57832-2017. *Композиты полимерные. Определение сопротивления отслаиванию*

REFERENCES

1. GOST R 53498-2013. *Medical devices of adhesive type. General technical requirements. Test methods*, vved. 05.01.20, (2019), Moscow, Standartinform.
2. GOST 28966.2-91. *Polymer adhesives. Method for determination of peeling strength*, vved. 01.01.92, (2004), Moscow, Izdatel'stvo standartov.
3. GOSTR 57832-2017. *Polymer composites. Determination of peeling resistance of high-strength adhesive joints by the floating roller method*, vved. 01.06.18, (2017), Moscow,

высокопрочных клеевых соединений методом плавающего ролика, введ. 01.06.18, (2017), Москва, Стандартинформ.

4. Орлов, Е. В., Гусев, Ю. А., Хрульков, А. В., Коротков, И. А. (2016), Сравнительный анализ методов определения липкости препрега, *Труды ВИАМ*, 2016, № 7(43), С. 77–83.
 5. Попов, А. Г., Петрова, О. Л., Кузнецов, С. В., Рогов, В. Н. (2018), Приспособление для проведения испытаний по определению прочности при отслаивании гибких материалов от основы: пат. RU 2671553С1 РФ; МПКG01N 19/04, дата публ.: 2018.11.01.
 6. Liu, Z., Tang, P., Huang, Y., Yin, Z. (2014), Experimental estimation of adhesive fracture energy of compliant adhesive tape, *15th International Conference on Electronic Packaging Technology*, Chengdu, 2014, pp. 842–846.
 7. Crossley, R. J., Schubel, P. J., Warrior, N. A. (2012), The experimental determination of prepreg tack and dynamic stiffness. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2012, Vol. 43, № 3, pp. 423–434.
 8. Yoshiki Sugizaki, Takaaki Shiina, Yoshimi Tanaka, Atsushi Suzuki (2016), Effects of peel angle on peel force of adhesive tape from soft adherend, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2016, Vol. 30, pp. 2637–2654.
- Standartinform.
 4. Orlov, E. V., Gusev, Ju. A., Hrul'kov, A. V., Korotkov, I. A. (2016), Comparative analysis of methods for determining the stickiness of prepreg [Srvnitel'nyj analiz metodov opredelenija lipkosti preprega], *Trudy VIAM – Proceedings of VYAM*, 2016, № 7(43), pp. 54–57.
 5. Popov, A. G., Petrova, O. L., Kuznecov, S. V., Rogov, V. N. (2018), Prispособlenie dlja provedenija ispytanij po opredeleniju prochnosti pri otslaivanii gibkih materialov ot osnovy [The device for testing to determine the strength when peeling flexible materials from the base], pat. RU 2671553C1 RF: MPKG01N 19/04; publ. date: 2018.11.01.
 6. Liu, Z., Tang, P., Huang, Y., Yin, Z. (2014), Experimental estimation of adhesive fracture energy of compliant adhesive tape, *15th International Conference on Electronic Packaging Technology*, Chengdu, 2014, pp. 842–846.
 7. Crossley, R. J., Schubel, P. J., Warrior, N. A. (2012), The experimental determination of prepreg tack and dynamic stiffness. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2012, Vol. 43, № 3, pp. 423–434.
 8. Yoshiki Sugizaki, Takaaki Shiina, Yoshimi Tanaka, Atsushi Suzuki (2016), Effects of peel angle on peel force of adhesive tape from soft adherend, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2016, Vol. 30, pp. 2637–2654.

Статья поступила в редакцию 01. 04. 2020 г.