



(51) МПК

*E04C* 3/02 (2006.01)*E04C* 3/28 (2006.01)*E04C* 3/00 (2006.01)*C08K* 7/14 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013122083/05, 15.05.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
15.05.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.05.2013

(43) Дата публикации заявки: 20.11.2014 Бюл. № 32

(45) Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2196866 C1, 20.01.2003. SU 631622 A1, 27.11.1978. US 20130055677 A1, 07.03.2013. US 20090241452 A1, 01.10.2009. RU 89189 U1, 27.11.2009. CN 201991135 U1, 28.09.2011

Адрес для переписки:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, (для НОЦ  
НМКН)

(72) Автор(ы):

Нелюб Владимир Александрович (RU),  
Буянов Иван Андреевич (RU),  
Бородулин Алексей Сергеевич (RU),  
Чуднов Илья Владимирович (RU),  
Полосмак Павел Вячеславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ  
им. Н.Э. Баумана) (RU)

## (54) ДЛИННОМЕРНЫЙ СИЛОВОЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТИПА СТРОИТЕЛЬНОЙ БАЛКИ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

(57) Реферат:

Изобретение относится к элементам силовых конструкций, работающих под нагрузкой, и может быть использовано в качестве балок строительных сооружений, перекрытий при строительстве ангаров, траверс опор линий электропередач и т.п. Конструкционный элемент содержит сердечник и армирующие слои из последовательно уложенных с обеих сторон сердечника слоев стеклоткани со скреплением слоев, пропитанных связующим, преимущественно по технологии вакуумной инфузии. В качестве слоев армирующего материала использованы стеклоткани с различной угловой ориентацией волокон по отношению к продольной оси сердечника, слои сформированы в одинаковые пакеты, причем в наиболее нагруженных частях конструкционного элемента каждый пакет образован как минимум из трех слоев разных стеклотканей, а именно: внутренний

центральный слой - стеклоткань, выложенная так, что волокна, образующие данную стеклоткань, оказываются уложенными под углами 0° и 90° по отношению к продольной оси сердечника, а остальные слои - внешние по отношению к центральному слою - из мультиаксиальной стеклоткани, выложенной так, что волокна, образующие данную стеклоткань, оказываются уложенными под углами 0°, +45° и -45° по отношению к продольной оси сердечника. В качестве связующего использовано наномодифицированное эпоксидное связующее марки ВСЭ-28, а в качестве материала сердечника - пенополиуретан. Конструкционный элемент обладает повышенной стойкостью к воздействию нагрузок, к воздействию неблагоприятных климатических факторов, обладает уменьшенной массой и технологичен в изготовлении. 3 з.п. ф-лы, 3 ил., 6 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*E04C* 3/02 (2006.01)  
*E04C* 3/28 (2006.01)  
*E04C* 3/00 (2006.01)  
*C08K* 7/14 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013122083/05, 15.05.2013

(24) Effective date for property rights:  
15.05.2013

Priority:

(22) Date of filing: 15.05.2013

(43) Application published: 20.11.2014 Bull. № 32

(45) Date of publication: 20.02.2015 Bull. № 5

Mail address:

105005, Moskva, 2-ja Baumanskaja ul., 5, str. 1,  
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS, (dlja NOTs  
NMKN)

(72) Inventor(s):

Neljub Vladimir Aleksandrovich (RU),  
Bujanov Ivan Andreevich (RU),  
Borodulin Aleksej Sergeevich (RU),  
Chudnov Il'ja Vladimirovich (RU),  
Polosmak Pavel Vjacheslavovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni  
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)  
(RU)

(54) **LENGTHY LOAD-BEARING STRUCTURAL ELEMENT OF CONSTRUCTION BEAM TYPE FROM POLYMER COMPOSITE MATERIAL**

(57) Abstract:

FIELD: construction.

SUBSTANCE: invention relates to elements of load-bearing structures operating under load and may be used as beams of building structures, slabs in construction of hangars, cross beams of power transmission line supports, etc. The structural element comprises a core and reinforcing layers from layers of glass fabric serially laid at both sides of the core, with attachment of layers impregnated with binder, preferably according to vacuum infusion technology. Layers of reinforcing material are glass fabrics with different angular orientation of fibres relative to the longitudinal axis of the core, layers are formed into identical packages, besides, in most loaded parts of the structural element each package is formed at least from

three layers of different glass fabrics, namely: inner central layer - glass fabric, laid so that fibres making this glass fabric are laid at the angles of 0° and 90° relative to the longitudinal axis of the core, and other layers - external to the central layer - from multi-axial glass fabric laid so that fibres making this glass fabric are laid at the angles of 0°, +45° and -45° relative to the longitudinal axis of the core. The binder is a nano-modified epoxide binder of grade VSE-28, and core material is foam polyurethane.

EFFECT: structural element has high resistance to impact of loads, to impact of unfavourable climatic factors, has lower weight and is manufacturable.

4 cl, 3 dwg, 6 tbl

Изобретение относится к элементам силовых конструкций, работающих под нагрузкой, и может быть использовано в качестве балок строительных сооружений, например портовых и причальных, а также в качестве перекрытий при строительстве ангаров, в качестве траверс опор линий электропередач и т.п.

5 К выполнению конструктивных элементов, используемых в качестве строительных балок, предъявляются повышенные требования по обеспечению высокой жесткости, прочности и надежности при минимальной массе с сохранением длительной стабильности физико-механических свойств при эксплуатации в неблагоприятных условиях окружающей среды.

10 При изготовлении таких элементов из композиционных материалов необходимо учитывать, что в общем случае основными усилиями, действующими на конструкцию строительной балки, являются изгибающий, крутящий момент и сжимающее усилие.

Поэтому при проектировании высоконагруженных изделий из полимерных композиционных материалов весьма важно определить оптимальное взаимное  
15 положение армирующих слоев, их материалы и технологию изготовления изделий.

Известен конструктивный элемент, выполненный из композиционного материала на основе перекрещивающихся стекловолокон и продольно ориентированных в нем  
20 стеклоровингов типа РБН-20, скрепленных полимерным связующим на основе полиэфирной смолы типа ПН-1, полученным методом термопротяжки через фильерное устройство, причем элемент выполнен из стекломатов типа синтепона поверхностной  
плотностью 100...400 г/м<sup>2</sup> из хаотично перекрещивающихся стекловолокон, равномерно  
распределенных на продольно ориентированных стеклоровингах со стороны открытых  
наружных поверхностей его развитого профиля при объемном соотношении стекломатов  
и стеклоровингов со связующим в композиционном материале от 1:0,5 до 1:0,75 и с  
25 толщинами стенок в профиле 0,2...2,5 мм (см. патент РФ №2164993, МПК E06B 3/20, опубл. 10.04.2001 г.).

В результате анализа известного решения необходимо отметить, что оно  
30 характеризуется высокой жесткостью, однако использованные для его изготовления материалы, способ их укладки при формировании композитной основы не позволяют его использовать в качестве сильно нагруженного конструктивного элемента, так как его несущая способность относительно невелика.

Известен конструктивный элемент, выполненный из композиционного материала, полученный способом протяжки через фильеру пересекающихся и/или переплетающихся  
35 волокон, помещенных в сплошную среду скрепляющего их полимерного связующего, и образованный профильными стенками, соединенными перемычками, с формированием, по меньшей мере, одной продольной полости и монтажных элементов для сборки в плоскостях профильных стенок, одни из которых выполнены с охватывающими  
40 контактными поверхностями и сформированными в виде двух плоских продольных консольных полок, расположенных на каждой из профильных стенок в зоне их контакта с соответствующей крайней перемычкой, а другие - с соразмерными охватываемыми  
контактными поверхностями и сформированными в виде двух плоских продольных выемок, расположенных на свободных концах каждой из профильных стенок, в котором  
охватывающие и охватываемые контактные поверхности монтажных элементов  
45 снабжены продольно ориентированными фиксирующими элементами с профилями, выполненными с совмещающимися друг с другом контурами и сформированными из материала, эквивалентного по структуре армирующему материалу профильных стенок, заодно с соответствующими охватываемыми и охватывающими контактными  
поверхностями, последние выполнены эквидистантно смещенными, причем смещение

выбирается в пределах  $\alpha=0,1 \dots 3$  мм, при этом наружные поверхности каркаса, включая монтажные элементы, сформированы в виде распределенных по поверхности выпуклостей и впадин, последовательно чередующихся в двух пересекающихся направлениях, с перепадом высоты в пределах  $\beta=0,05 \dots 1$  мм и независимым шагом чередования по каждому направлению (см. патент РФ №2290483, МПК E04C 3/29, E04C 2/10, B29D 31/00, B29C 47/00, B29C 70/06, B29C 70/24, опубл. 27.12.2006).

В результате анализа известного решения необходимо отметить, что технология изготовления данного конструкционного элемента весьма сложна, так как его изготовление осуществляют с помощью специальной пултрузионной машины. Данная технология имеет ряд недостатков:

- скорость процесса зависит от температуры и скорости отверждения связующего и обычно невелика для низкотеплостойких полиэфирных смол;
- трудно обеспечить строгое постоянство сечения изделий по длине, за исключением изделий со сравнительно простой формой сечения - круглой, квадратной, двутавровой и некоторых других;
- необходимо использовать для получения изделий только нити или жгуты;
- тенденция к увеличению стоимости изготовления по сравнению с традиционными методами формования.

Также необходимо отметить, что получаемый конструкционный элемент характеризуется высокой жесткостью, однако использованные для его изготовления материалы, порядок их укладки при формировании композитной основы не позволяют его использовать в качестве сильно нагруженного конструкционного элемента, так как его несущая способность не обеспечивает восприятие крутящего момента и сжимающей нагрузки. Кроме того, известный конструкционный элемент характеризуется довольно значительной массой и низкой стойкостью к воздействию климатических факторов.

Известна композитная лопатка с пенопластовым сердечником, обладающая повышенными эксплуатационными характеристиками, разработки ОАО «Национальный институт авиационных технологий» (Россия), принятая в качестве возможного ближайшего аналога - прототипа (см. патент РФ №89189, МПК F04D 29/38, опубл. 27.11.2009).

Указанная композитная лопатка содержит пенопластовый сердечник в лопастной части с наружной прослойкой из внедренного в пенопласт слоя стеклоткани и внешние армирующие слои из тканого полимерного материала, уложенные с обеих сторон сердечника, и внедренные в термоотверждаемое полимерное связующее. В технологической части сборки преформы для лопатки производят путем последовательного укладки слоев ткани (или однонаправленного материала) и сердечника имеющего наружный слой из внедренной в пенопласт стеклоткани, далее происходит скрепление слоев зигзагообразной строчкой на швейной машине зигзагообразного стежка. Полученная преформа лопатки подвергается вакуумной обработке для качественной укладки в пресс-форму с последующей пропиткой известными способами и полимеризацией.

В композитной лопатке как силовом конструкционном элементе, испытывающем при работе существенные силовые нагрузки, есть ряд признаков, совпадающих с признаками предлагаемого изобретения, а именно:

- сердечник;
- слой стеклоткани;
- внешние армирующие слои из тканого полимерного материала, уложенные с обеих

сторон сердечника;

- последовательное укладывание слоев ткани в преформу со скреплением слоев ткани;

5 - технология вакуумной инфузии: преформа лопатки подвергается вакуумной обработке для качественной укладки в пресс-форму с последующей пропиткой полимерным связующим.

Однако данный силовой конструкционный элемент из полимерного композиционного материала (ПКМ) не предназначен для применения в строительстве, и в связи с этим есть ряд существенных отличительных признаков у предлагаемого нового технического решения силового конструкционного элемента из ПКМ.

10 Технической задачей предлагаемого изобретения является разработка длинномерного силового конструкционного элемента типа строительной балки из полимерного композиционного материала, обладающего повышенной стойкостью к воздействию нагрузок (в первую очередь изгибных), а также к воздействию неблагоприятных климатических факторов, обладающего уменьшенной массой и технологичного в изготовлении.

Указанная задача решается тем, что в длинномерном силовом конструкционном элементе, содержащем сердечник, армирующие слои из последовательно уложенных с обеих сторон сердечника слоев стеклоткани со скреплением слоев, пропитанных связующим преимущественно по технологии вакуумной инфузии, отличительным является то, что в качестве слоев армирующего материала композитной оболочки использованы стеклоткани с различной угловой ориентацией волокон по отношению к продольной оси сердечника. Слои сформированы в преимущественно одинаковые пакеты. Причем в наиболее нагруженных частях конструкционного элемента каждый пакет образован как минимум из трех слоев разных стеклотканей, а именно: внутренний центральный слой - стеклоткань с волокнами, ориентированными в двух направлениях, образующими двухмерную структуру плетения с направлением углов укладки волокон  $0/90^\circ$  к продольной оси сердечника, а остальные слои - внешние по отношению к центральному - из мультиаксиальной стеклоткани с направлением углов укладки трех семейств волокон  $0/\pm 45^\circ$  к продольной оси сердечника. В качестве пропитывающего связующего использовано наномодифицированное эпоксидное связующее марки ВСЭ-28 (по ТУ 1-595-12-1344-2012), материал сердечника - пенополиуретан. Также могут быть использованы два вида стеклоткани: стеклоткань сатинового переплетения марки Т-10 (ВМП) (по ТУ 5952-183-05786904-2004) и стеклоткань мультиаксиальная марки ТХ-700.

Возможный плавный переход от трехслойных пакетов в наиболее нагруженной части конструкционного элемента к двухслойным пакетам в менее нагруженной части может быть осуществлен посредством сбегания центральных слоев стеклоткани сатинового переплетения в зоне соответствующего плавного изменения размеров поперечного сечения сердечника, причем линия сброса в соседних пакетах проходит на расстоянии не менее 5 мм для плавного изменения толщины всей композиционной оболочки элемента.

При предварительном формировании пакета на каждый слой стеклоткани наносят клеящий спрей для удерживания слоев стеклотканей в пакетах и самих пакетов между собой (в отличие от скрепления слоев зигзагообразной строчкой на швейной машине зигзагообразного стежка в прототипном решении).

Сущность изобретения поясняется графическими материалами, на которых даны:

- на фиг.1 - продольный прямоугольный сердечник с зоной плавного изменения

размеров поперечного сечения;

- на фиг.2 - две схемы расположения слоев в пакетах (трехслойных и двухслойных) при формировании силового конструкционного элемента;

- на фиг.3 - схемы сбег (сброса) части слоев в продольном направлении на интервале 5 1000...1200 мм от торца изделия.

Силовой конструкционный элемент из композиционного материала представляет многослойное изделие с сердечником различного поперечного сечения (например, квадратного или прямоугольного), которое получают формированием ряда одинаковых пакетов из нескольких слоев сухих стеклотканей, последовательной укладкой пакетов 10 слоев один на другой и сверху сердечника изделия под заданными углами укладки двух или трех направлений волокон стеклотканей к продольной оси изделия и последующей пропиткой их наномодифицированным связующим.

Сердечник, например из пенополиуретана, используют в качестве оснастки при выкладывании первого и последующих слоев стеклотканей, а также в качестве 15 подкрепляющего элемента, препятствующего потере устойчивости стенок изделия.

Существенно, что для достижения технического результата слои скомпонованы в одинаковые пакеты слоев стеклотканей, центральный слой которых состоит из стеклоткани сатиновой (с углами укладки двух направлений волокон (или нитей)  $0^\circ/90^\circ$ ), а слои снизу и сверху центрального слоя состоят из мультиаксиальной стеклоткани 20 (с углами укладки трех семейств волокон  $0^\circ/+45^\circ/-45^\circ$ ).

Центральный слой пакета с углами укладки двух направлений нитей  $0^\circ/90^\circ$  предназначен для восприятия изгибающей и сжимающей нагрузки. Слои пакета из мультиаксиальной стеклоткани с углами укладки трех семейств волокон  $0^\circ/+45^\circ/-45^\circ$  предназначены для восприятия крутящего момента, изгибающей и сжимающей нагрузки.

Количество пакетов и слоев в них выбирают исходя из расчета минимально допустимого количества пакетов и слоев в них для обеспечения заданной прочности изделия при предельных эксплуатационных нагрузках.

Первый пакет выкладывается непосредственно на сердечник. Остальные пакеты выкладываются последовательно поверх предыдущих пакетов. Слои конструкционного 30 элемента образуются послойной выкладкой армирующего наполнителя, уложенного в соответствии со схемой укладки. В качестве армирующего наполнителя выступают стеклоткань сатинового плетения и мультиаксиальная стеклоткань, образованная тремя семействами нитей. В мультиаксиальной стеклоткани основное семейство волокон проходит в направлении размотки ткани ( $0^\circ$  к продольной оси сердечника), а два 35 дополнительных семейства - соответственно под углами  $+45^\circ$  и  $-45^\circ$  к основному. В сатиновой стеклоткани основное направление ( $0^\circ$  к продольной оси сердечника) стеклоткани проходит в направлении размотки ткани, а дополнительное - под углом  $90^\circ$  к основному. Каждый пакет наиболее нагруженной зоны изделия образован последовательной выкладкой одного слоя мультиаксиальной стеклоткани, одного слоя 40 сатиновой стеклоткани и еще одного слоя мультиаксиальной стеклоткани. Для повышения технологичности все три слоя ткани при формировании каждого пакета выкладывают так, чтобы направления размотки ткани совпадали с продольной осью изделия, а необходимое по условиям прочности процентное соотношение волокон (или нитей), идущих в различных направлениях, достигается подбором конкретных марок 45 стеклотканей, используемых в качестве армирующих наполнителей. Как показали исследования, наиболее оптимальным для случая изгибающего момента в качестве преобладающей нагрузки на силовую балку является следующее массовое соотношение стеклянных волокон, входящих в состав преформы и направленных к продольной оси

изделия под углами  $0^\circ, \pm 45^\circ, 90^\circ$  соответственно: 50%/35%/15%.

Первый и третий слои в каждом пакете представляют собой мультиаксиальную стеклоткань, выложенную так, что волокна (или нити), образующую данную ткань, оказываются уложенными под углами  $0^\circ/+45^\circ/-45^\circ$  по отношению к продольной оси изделия. Данные слои обеспечивают восприятие крутящего момента, изгибающей и сжимающей нагрузки.

Второй слой в каждом пакете представляет собой сатиновую стеклоткань, выложенную так, что волокна (или нити), образующие данную ткань, оказываются уложенными под углами  $0^\circ/90^\circ$  по отношению к продольной оси изделия. Данный слой обеспечивает восприятие изгибающей и сжимающей нагрузки.

Для предотвращения взаимного перемещения слоев пакета при его формировании, выкладке на сердечник и пропитке связующим, при формировании пакета на каждый слой стеклоткани наносят клеящий спрей, который удерживает слои ткани в пакетах и сами пакеты между собой.

В случае, если характер нагрузок, воспринимаемых изделием в процессе эксплуатации, приводит к тому, что изделие оказывается нагружено неравномерно, например, при консольном закреплении изделия, возможно введение дополнительных слоев, повышающие местную прочность в особо нагруженных зонах изделия. Так как в остальных зонах наличие дополнительных слоев не требуется, они могут быть обрезаны так, что на границе особо нагруженной и регулярной зон изделия формируется плавный переход толщины слоистой оболочки, называемый сбегом дополнительных слоев. Во избежание изменения габаритов поперечного сечения изделия, снижающего его эксплуатационные качества, в случае наличия в изделии дополнительных слоев, сердечник изделия должен быть выполнен со следующей особенностью. Размеры его сечения в зоне укладки дополнительных слоев должны быть меньше размеров его сечения в регулярной зоне изделия на двойную толщину дополнительных слоев, а в зоне сбega слоев он должен иметь зону плавного изменения размеров.

При изготовлении изделия осуществляют пропитку укладываемых слоев стеклотканей наномодифицированным связующим. Пропитку сформированной преформы (набора из необходимого количества сухих пакетов слоев, уложенных на сердечник и скрепленных между собой с помощью клеящего спрея) осуществляют с использованием технологии вакуумной инфузии. Данная технология основана на применении вакуума для пропитки заранее сформированной сухой преформы. Подготовка преформы при вакуумной инфузии не ограничена по времени, так как до подачи связующего, имеющего ограниченный срок времени в рабочем жидком состоянии, вакуумный пакет накладывают на сухую преформу.

Пропитку всех пакетов слоев осуществляют с применением наномодифицированного связующего. В качестве наномодифицированного связующего наиболее целесообразно использование эпоксидного связующего марки ВСЭ-28 по ТУ 1-595-12-1344-2012, поскольку его повышенные физико-механические характеристики позволяют обеспечить необходимый уровень прочности конструкции при использовании в качестве армирующего наполнителя волокон стеклоткани. При использовании в качестве связующего других известных немодифицированных смол необходимый уровень физико-механических свойств может быть достигнут только введением в состав армирующего наполнителя жгутов углеродных волокон (однако стоимость углеродных волокон весьма значительная). Характеристики наномодифицированного эпоксидного связующего марки ВСЭ-28 по ТУ 1-595-12-1344-2012 представлены в таблицах 1 и 2.

Состав композиции наномодифицированного эпоксидного связующего марки ВСЭ-

28 по ТУ 1-595-12-1344-2012

Таблица 1		
Состав композиции наномодифицированного эпоксидного связующего марки ВСЭ-28 по ТУ 1-595-12-1344-2012		
5	Наименование компонента	Расходные коэффициенты для приготовления связующего ВСЭ-28
10	Эпоксидная смола ЭД-22	0,81300
	Компонент А Нанодисперсный порошок оксида алюминия	0,00002
	Итого компонента А	0,81302
15	Компонент Б фурфуриловый спирт	0,11898
	2-метилимидазол	0,06800
	Итого компонента Б	0,18698

Таблица 2		
Физико-механические и термомеханические свойства отвержденного наномодифицированного связующего марки ВСЭ-28 по ТУ 1-595-12-1344-2012		
20	Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,21
	Температура стеклования, T <sub>g dry</sub> , °С	96
	Температура стеклования, T <sub>g wet</sub> , °С/влажонасыщение, % (выдержка образца в воде при температуре (25±2)°С в течение 30 суток)	65/1,0
25	Прочность при растяжении, МПа	82
	Модуль упругости при растяжении, ГПа	3,2
	Прочность при статическом изгибе, МПа	182
	Модуль упругости при статическом изгибе, ГПа	3,3

Основными материалами для изготовления изделия являются композиты на основе стеклянных волокон - стеклоткани. Они обладают достаточно высокой прочностью при минимальной стоимости. Вместе с тем модули упругости стеклопластиков невелики, поэтому на случай, если модули упругости стеклопластиков окажутся недостаточными, возможно применение материалов на основе углеродных волокон - углепластиков. Их характеристики значительно выше, хотя их использование сопряжено с гораздо более высокой стоимостью. Предлагается использовать два вида стеклоткани: стеклоткань сатиновую (например, марки Т-10 (ВМП - высокомодульная прочная) по ТУ 5952-183-05786904-2004 с направлением углов укладки волокон 0°/90°) и стеклоткань мультиаксиальную (например, марки ТХ-700 опытного производства ОАО "СТЕКЛОНИТ" (Россия) с направлением углов укладки 0°/±45°).

Таблица 3			
Основные характеристики ткани Т-10 (ВМП) по ТУ 5952-183-05786904-2004:			
Наименование	Значение		
Ориентация слоев	0°/90°		
Толщина, мм	0,25±0,02		
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	310 <sup>+15</sup> / <sub>-10</sub>		
45	Плотность волокон на 1 см	По основе	36 <sup>+1</sup>
		По утку	20±1
Разрывная нагрузка, кН	По основе	>3,2	
	По утку	>1,8	
Тип переплетения		Сатин 8/3	



Наименование	Значение
Ориентация слоев	0°/+45°/-45°
Ширина, см	126±1
Поверхностная плотность слоев, г/м <sup>2</sup>	470/120/120
Разрывная нагрузка, Н/5 см	9800/3508/3508
Толщина, мм	0,682-0,705

Пример осуществления заявленного изобретения.

Изготавливали многослойный силовой конструкционный элемент типа строительной балки длиной 3000 мм и размерами постоянного внешнего прямоугольного поперечного сечения 350×150 мм. Это изделие может быть использовано для:

- работы в составе конструкции опоры линии электропередачи (ЛЭП);
- для использования в качестве типового силового элемента быстровозводимых мостов;
- для использования в качестве типового силового, в том числе консольного, элемента несущих перекрытий строительных сооружений.

Данное конструкционное изделие имеет сердечник (см. фиг.1) из пенополиуретана, который имеет плавное изменение размеров прямоугольных поперечных сечений в зоне сбеге слоев (от 1000 до 1200 мм с одного из концов изделия).

В процессе выкладки армирующий материал в виде стеклоткани выкладывался на сердечник, закрепленный на оснастке. Последовательные слои выкладывались под заданными углами, пока не было выложено заданное количество слоев. Количество слоев и пакетов из них было выбрано исходя из минимально допустимого количества для обеспечения прочности при предельных эксплуатационных нагрузках. В результате в состав изделия в регулярной зоне вошли 22 пакета из слоев, уложенных так, что отдельные волокна в них были сориентированы по отношению к продольной оси изделия в соответствии со схемами укладки на фиг.2, где слева в разрезе АА показана схема укладки трех слоев стеклотканей ТХ-700 и Т-10 (В МП) в пакетах от 1 до 22 (на более тонкой регулярной стороне сердечника в более нагруженной части изделия), а справа в разрезе В-В - схема укладки двух слоев (без центрального слоя стеклоткани Т-10 (В МП)) в пакетах от 1 до 22 (на более толстой регулярной стороне сердечника в менее нагруженной части изделия). Волокна стеклотканей ТХ-700 и Т-10 (В МП) в трехслойных пакетах были уложены в направлениях к продольной оси изделия в соответствии с таблицей 5.

№ слоя	Углы укладки	Марки стеклотканей
1	0°/+45°/-45°	ТХ-700
2	0°/90°	Т-10(ВМП)
3	0°/+45°/-45°	ТХ-700

Переход от трехслойных пакетов к двухслойным посредством сбеге центральных слоев стеклоткани Т-10 (В МП) представлен на фиг.3 схемой сбеге части слоев в зоне плавного изменения размеров прямоугольного поперечного сечения сердечника. Схема сбеге слоев в пакетах изделия заключается в том, что в каждом пакете происходит сброс центрального слоя, причем линия сброса в соседних пакетах проходит на расстоянии не менее 5 мм, что образует плавное изменение толщины всей композиционной оболочки.

Связующим для пропитки армирующих материалов служило наномодифицированное связующее марки ВСЭ-28 по ТУ 1-595-12-1344-2012. После пропитки вакуумной инфузией

отверждение изделия вели в печи при температуре 60...120°C или при естественном отверждении при температуре 20...30°C.

Выборочные технические характеристики полученного силового конструкционного элемента типа строительной балки приведены в таблице 6.

5

Таблица 6		
Параметр	Единица измерения	Значение
Длина	мм	3000
Высота×Ширина	мм	350×150
Толщина стенки	мм	36
10 Масса	кг	169
Расчетный изгибающий момент	кН·м	450
Расчетный срок службы	лет	50

По сравнению с наиболее широко используемыми конструкциями разработанный конструктивный элемент обладает на 25% более высокой несущей способностью, уменьшенными на 20% массой, на 10% трудоемкостью изготовления и на 15% стоимостью, а также увеличенной стойкостью к агрессивным средам и неблагоприятным климатическим условиям. Использование заявленного изобретения обеспечивает:

15

- снижение массы изделия в (1,5-2,0) раза по сравнению с металлическими аналогами, что приводит к снижению расходов на транспортировку и монтаж;

20

- обеспечение достаточного запаса прочности при действии расчетной нагрузки без значительного увеличения габаритов поперечного сечения изделия и толщины его стенки;

- высокую устойчивость к коррозии, обледенению и другим атмосферным воздействиям, что определяет длительный срок службы изделия.

25

Выполнение силового элемента в виде строительной балки обеспечивает прочность и заданный уровень предельных деформаций в конструкции и сохранение заданных физико-механических свойств в течение всего срока службы при условии соблюдения правил и режима эксплуатации благодаря подобранным схемам и расчету количества слоев и пакетов укладок стеклотканей, а также использованию наномодифицированного связующего, преимущественно эпоксидного марки ВСЭ-28 по ТУ 1-595-12-1344-2012.

30

### Формула изобретения

1. Длинномерный силовой конструкционный элемент из полимерного композиционного материала, содержащий сердечник, армирующие слои из последовательно уложенных с обеих сторон сердечника слоев стеклоткани со скреплением слоев, пропитанных связующим преимущественно по технологии вакуумной инфузии, отличающийся тем, что в качестве слоев армирующего материала композитной оболочки использованы стеклоткани с различной угловой ориентацией волокон по отношению к продольной оси сердечника, слои сформированы в преимущественно одинаковые пакеты, причем в наиболее нагруженных частях конструкционного элемента каждый пакет образован как минимум из трех слоев разных стеклотканей, а именно: внутренний центральный слой - стеклоткань, выложенная так, что волокна, образующие данную стеклоткань, оказываются уложенными под углами 0° и 90° по отношению к продольной оси сердечника, а остальные слои - внешние по отношению к центральному слою - из мультиаксиальной стеклоткани, выложенной так, что волокна, образующие данную стеклоткань, оказываются уложенными под углами 0°, +45° и -45° по отношению к продольной оси сердечника; в качестве пропитывающего связующего использовано наномодифицированное эпоксидное связующее марки ВСЭ-28; материал сердечника - пенополиуретан.

35

40

45

2. Элемент по п. 1, отличающийся тем, что использованы два вида стеклоткани: стеклоткань сатинового переплетения марки Т-10 (ВМП) и стеклоткань мультиаксиальная марки ТХ-700.

5 3. Элемент по п. 1, отличающийся тем, что плавный переход от трехслойных пакетов в наиболее нагруженной части конструкционного элемента к двухслойным пакетам в менее нагруженной части осуществлен посредством сбегания центральных слоев стеклоткани сатинового переплетения в зоне соответствующего плавного изменения размеров поперечного сечения сердечника, причем линия сброса в соседних пакетах проходит на расстоянии не менее 5 мм для плавного изменения толщины всей  
10 композиционной оболочки элемента.

4. Элемент по п. 1, отличающийся тем, что при предварительном формировании пакета на каждый слой стеклоткани наносят клеящий спрей для удерживания слоев стеклотканей в пакетах и самих пакетов между собой.

15

20

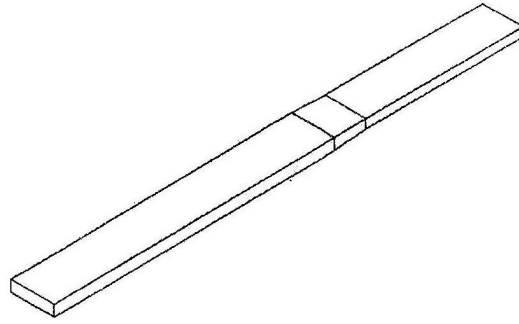
25

30

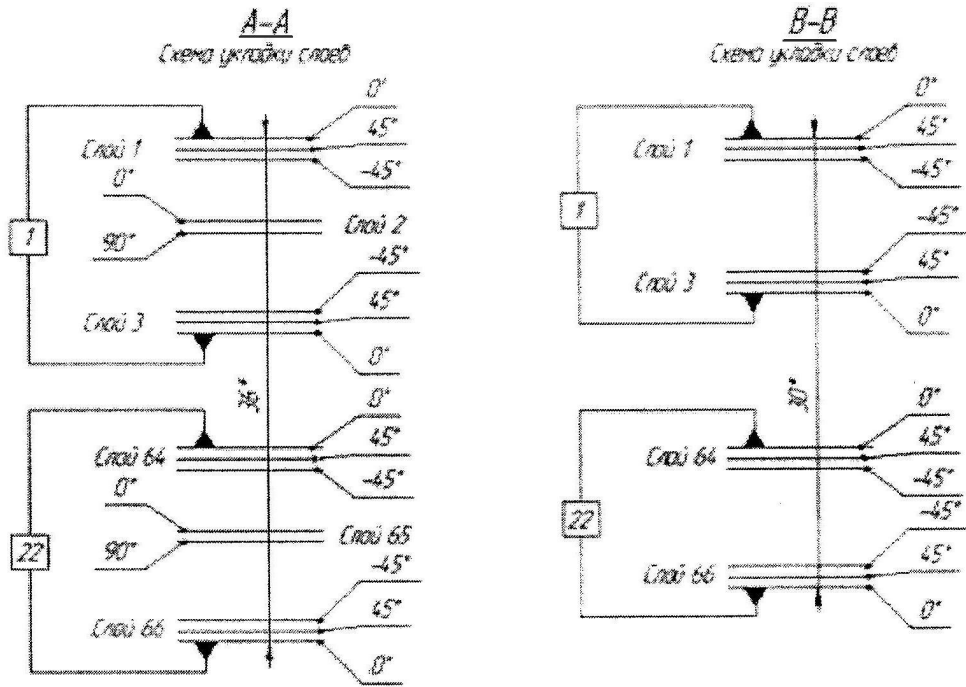
35

40

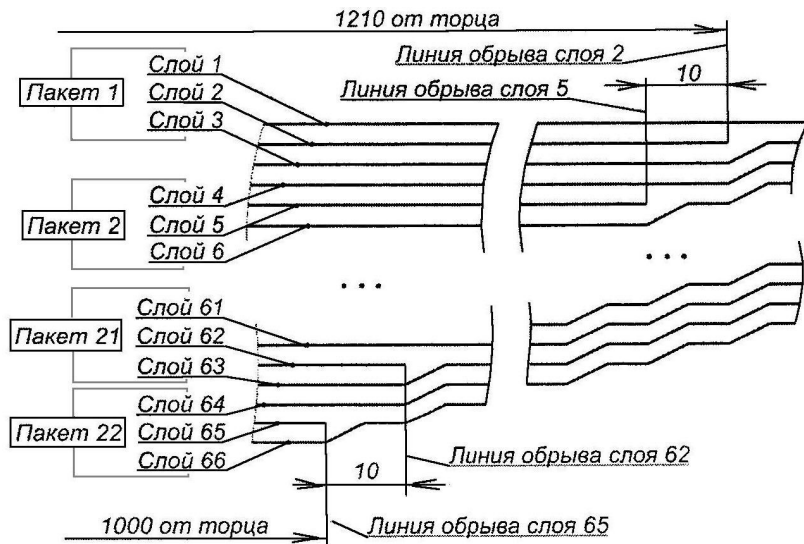
45



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3