



(51) МПК
B32B 5/02 (2006.01)
B32B 17/04 (2006.01)
B64D 15/12 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2009137119/05**, **31.08.2007**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
31.08.2007

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
08.03.2007 IT TO2007A000176

(43) Дата публикации заявки: **20.04.2011** Бюл. № 11

(45) Опубликовано: **27.10.2011** Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: **EP 0362662 A1**, **11.04.1990**. **WO 91/11891**
A1, **08.08.1991**. **DE 10 2004 042423 A1**,
09.03.2006. **EP 0680878 A1**, **08.11.1995**. **RU**
2085671 C1, **27.07.1997**.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
 национальной фазе: **08.10.2009**

(86) Заявка РСТ:
IT 2007/000599 (**31.08.2007**)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2008/107922 (**12.09.2008**)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. А.В.Мищу, рег.№ 364

(72) Автор(ы):

АПИЧЕЛЛА Альфонсо (IT),
ИАННОНЕ Микеле (IT),
ИАННУЦЦО Дженерозо (IT),
САНЬЕЛЛА Джованни (IT)

(73) Патентообладатель(и):

АЛЕНИЯ АЭРОНАУТИКА С.П.А. (IT)

**(54) ИЗДЕЛИЕ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА С УПРАВЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРОЙ И
 ВЛАЖНОСТЬЮ И СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТАКОГО ИЗДЕЛИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу управления абсорбцией влажности в изделии, установленном на летательном аппарате. Изделие включает в себя множество слоев материала из смоляной матрицы, усиленной волокнистым материалом, отверждаемых

приложением давления и нагрева. Между слоями помещены нагревательное электрическое сопротивление и устройства измерения температуры, которые соединены со средствами управления. Изобретение позволяет управлять условиями работы изделия. 2 н. и 11 з.п. ф-лы, 10 ил., 2 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
B32B 5/02 (2006.01)
B32B 17/04 (2006.01)
B64D 15/12 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2009137119/05, 31.08.2007**

(24) Effective date for property rights:
31.08.2007

Priority:

(30) Priority:
08.03.2007 IT TO2007A000176

(43) Application published: **20.04.2011 Bull. 11**

(45) Date of publication: **27.10.2011 Bull. 30**

(85) Commencement of national phase: **08.10.2009**

(86) PCT application:
IT 2007/000599 (31.08.2007)

(87) PCT publication:
WO 2008/107922 (12.09.2008)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B.Spaskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. A.V.Mitsu, reg.№ 364**

(72) Inventor(s):

**APICHELLA Al'fonso (IT),
IANNONE Mikele (IT),
IANNUTsTsO Dzhenerozo (IT),
SAN'ELLA Dzhovanni (IT)**

(73) Proprietor(s):

ALENIJa AEhRONAUTIKA S.P.A. (IT)

(54) ARTICLE FROM COMPOSITE MATERIAL CONTROLLED BY TEMPERATURE AND HUMIDITY AND METHOD OF ITS PRODUCTION

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.
SUBSTANCE: invention relates to method of controlling humidity absorption in article mounted in aircraft. Proposed article comprises multiple layers of material from resin matrix reinforced fibrous

material to be hardened by pressure and heat. Heating electric resistor and temperature metre connected with control means are arranged between said layers.

EFFECT: control over article operation.

13 cl, 10 dwg, 2 tbl, 1 ex

R U 2 4 3 2 2 6 0 C 2

R U 2 4 3 2 2 6 0 C 2

Данное изобретение относится к изделию из композитного материала согласно преамбуле пункта 1 формулы изобретения.

Как известно, полимерные материалы имеют макромолекулярную структуру, т.е. составлены длинными полимерными цепями, имеющими относительную подвижность, которая варьируется в зависимости от структуры, но во всех случаях дает возможность доступа молекул веществ с более низким молекулярным весом, которые проникают между макромолекулами, образуя тем самым реальный раствор.

Конечно, количество этих веществ зависит от молекулярной природы и полимера и вещества с низким молекулярным весом. Взаимодействие может быть также химическим и/или физическим.

Химическое взаимодействие для некоторых более химически агрессивных веществ, подобных кислотам и/или некоторым органическим растворителям, может вызвать модификацию полимера и иногда также растворение полимера. Физическое взаимодействие вместо этого связано большей частью с обратимым смешением. Оно создает между молекулами полимера и вещества с низким молекулярным весом раствор с физическими характеристиками, отличающимися от характеристик чистого полимера. Что касается веществ с низким молекулярным весом, они обычно повышают относительную подвижность между макромолекулами, вызывая, как правило, снижение температуры стеклования (T_{cT}); с механической точки зрения обычно снижаются пределы текучести σ_y (предел текучести при растяжении) и τ_y (предел текучести при сдвиге) и, как правило, также модуль упругости E (модуль упругости при растяжении или модуль Юнга) и модуль упругости при сдвиге (G). Все эти эффекты, рассматриваемые в целом, обычно определяют как "эффекты пластификации".

Пластификация зависит от природы полимера, а также от природы и количества вещества с низким молекулярным весом.

В число веществ, которые вызывают пластификацию, входят органические растворители (например, МЭК, метиловый спирт, этиловый спирт, гексан, ацетон), а также вода. Когда полимер погружен в пластифицирующую жидкость, он имеет склонность абсорбировать такую жидкость, и абсорбирует некоторое ее количество со скоростью, зависящей от коэффициента диффузии пластификатора в полимере.

Когда достигается состояние равновесия, так, что не происходит никакой дальнейшей абсорбции пластификатора в полимер (в действительности, на молекулярном уровне число входящих молекул эквивалентно числу уходящих молекул), говорится, что достигнуто содержание насыщения пластификатора, которое зависит от химической природы и полимера, и пластификатора, и может варьироваться с температурой.

Когда полимер погружен в окружающую среду, в которой частично присутствует пластификатор, количество насыщения зависит от процентного содержания пластификатора, присутствующего в окружении; более конкретно, в терминах термодинамики мы говорим об активности пластификатора. В случае газовых смесей активность зависит от парциального давления: если x есть объемная доля пластификатора, то парциальное давление равняется $x \cdot p$, где p есть общее давление смеси. Когда вода диспергирована в воздухе в газообразном состоянии и установилось равновесие между газообразной водой и жидкой водой, активность газообразной воды эквивалентна активности жидкой воды. В этом случае окружающую среду определяют как насыщенную водой, относительная влажность равна 100%, и парциальное давление воды в газообразном состоянии эквивалентно давлению пара воды при той же температуре.

В случае полимеров, подвергающихся воздействию окружающей среды, содержащей некоторое количество воды, приближенный линейный закон соотносит относительную влажность и процентное содержание абсорбированной воды при достижении равновесия.

5 Напротив, что касается изменения количества абсорбированной воды как функции от температуры, обычно зависимость от температуры не является очень сильной; для эпоксидных смол, применяемых в качестве матрицы композита для авиационных конструктивных применений, содержание абсорбированной смолой воды при насыщении в жидкой воде (или, эквивалентно, в воздушной среде со 100% 10 относительной влажностью) меняется при составе смолы от 1 до 3% и является почти постоянным для одинаковой смолы в интервале от 25°C до 80°C.

Вместо этого время, необходимое для достижения насыщения в различных 15 окружающих средах, управляется диффузией воды в полимере и, следовательно, зависит от коэффициента диффузии, который зависит по экспоненциальному закону от температуры. Интегрирование закона диффузии позволяет найти квадратичную корреляцию между временем насыщения и толщиной детали.

На основании предыдущих соображений можно заключить, что полимерные 20 материалы, включающие в себя, например, матрицы полимерных матричных композитов, со временем подвергаются абсорбции воды из окружающей атмосферы, характер которой зависит от внешних условий работы. Вследствие чрезвычайной изменчивости внешних условий для проектирования должны из предосторожности рассматриваться наиболее неблагоприятные внешние условия, какими для применения 25 в авиации были приняты 28°C и относительная влажность 85% для всего срока службы летательного аппарата (обычно 30 лет). Следовательно, для большинства композитных структур для сертификации должно рассматриваться насыщение при 85%.

30 С точки зрения температур обычно минимальная температура (максимальная крейсерская высота) составляет - 55°C, максимальная температура (на земле, максимальное воздействие солнечным светом) составляет 80°C.

На основании того, что упомянуто о пластификации, влияние высокой температуры 35 действует в том же направлении, что и абсорбция воды; следовательно, сертификацию материала и структуры проводят путем оценки материала при высокой температуре и после абсорбции воды ("горячие влажные" условия) и при низкой температуре обычно без абсорбции воды ("холодные сухие" условия).

40 Требование рассматривать также эти условия в программах авиационной сертификации, которые и так уже очень требовательны в смысле механических испытаний при температуре окружающей среды (в любом случае они относятся к опытным образцам, деталям, элементам, субкомпонентам и полномасштабным компонентам), очень дорого в смысле дополнительной испытательской деятельности 45 (также из-за подвергания воздействию испытываемых образцов) и времени. В действительности, вследствие вышесказанного абсорбция является очень медленной, и моделирование абсорбции в течение периода в 30 лет при комнатной температуре требует нескольких месяцев, также и когда используют условия ускорения старения (при высокой температуре).

50 Поэтому целью настоящего изобретения является предложить изделие, состоящее из композитного материала, имеющего способность преодолеть вышеуказанные трудности, вызванные влиянием влажности на полимерные материалы.

Таким образом, предметом изобретения является изделие, состоящее из

композитного материала, имеющего характеристики, описанные в п.1 формулы изобретения.

Вследствие того факта, что в изделие из композитного материала интегрированы средства нагрева и измерения температуры, имеется возможность управлять постоянным и окончательным образом условиями работы изделия. Полученные в результате выгоды зависят от выбора габаритов структур, не принимая в расчет ухудшение свойств материала, вызванное высокой концентрацией абсорбированной воды и низкой температурой. Это, в особенности, означает:

позволение использовать более широкие разрешенные нормы проектирования, которые не принимают в расчет ухудшение, вызванное влажностью и в конечном счете низкой температурой, следовательно, делая более легкие структуры;

позволение сертифицировать структуры без проведения влажных испытаний на уровне опытных образцов, элементов, субкомпонентов и компонентов.

Предпочтительные пути осуществления изобретения определены в зависимых пунктах формулы изобретения.

Следующими объектами изобретения являются способы использования изделия согласно изобретению, имеющие признаки, описанные в пунктах формулы изобретения с п.9 по п.11, соответственно, и компьютерный программный продукт, загружаемый в память компьютера и включающий в себя части системной программы для осуществления способа, когда программный продукт выполняется на компьютере, и система для управлением рабочими условиями в изделии согласно изобретению, имеющая признаки, определенные в пунктах формулы изобретения от п.13 до п.15, соответственно.

Далее некоторые предпочтительные, но не ограничительные осуществления изобретения описаны со ссылками на прилагаемые чертежи, где:

фиг.1 является схематическим представлением вида сверху на панель из композитного материала согласно изобретению, показывающим некоторые характеристики панели;

фиг.2 является схематичным изображением сечения панели на фиг.1 в соответствии с II-II;

фиг.3 является дополнительным схематическим представлением вида сверху на панель фиг.1, показывающим другие характеристики панели; и

фиг.4 является схематичным представлением сечения панели на фиг.3 в соответствии с IV-IV;

фиг.5 является схематическим представлением вида сверху на установочный инструмент для использования в процессах наплаивания панели по фиг.1;

фиг.6 является представлением увеличенного вида части инструмента по фиг.5, указанной стрелкой VI фиг.5;

фиг.7 является схематичным представлением сечения части по фиг.6 в соответствии с VII-VII; и

фиг.8-10 являются графиками, представляющими кривые абсорбции влажности в панелях из композитного материала согласно изобретению.

На чертежах представлено изделие 1, состоящее из композитного материала, согласно изобретению, в частности, панель, которую предлагается установить на летательный аппарат. Эта панель 1 включает в себя, известным самим по себе способом, множество слоев материала 10, отверждаемых посредством давления и нагрева, в которой каждый слой материала 10 образован из смоляной матрицы, усиленной волокнистым материалом. Полимерная матрица может быть

термопластичной или терморезактивной и усилена волокнами, в частности длинными волокнами, например, углеродными, стеклянными или из кевлара. Между слоями материала 10 определены зоны поверхностей раздела 11, 12 и 13.

Согласно изобретению панель 1 включает в себя нагревательное средство 20 и средство измерения температуры 30, встроенные в композитный материал, которые расположены, соответственно, в по меньшей мере одной зоне поверхности раздела 11, 13 между слоями 10 и пригодны для того, чтобы сделать возможным управление температурой внутри панели 1 при эксплуатации.

Нагревательные средства 20 пригодны для того, чтобы быть соединенными при работе со средством 40 управления для активации нагревательных средств для того, чтобы поднять температуру детали выше уровня окружающей среды, вызывая тем самым эффект потери влажности или также управляя минимальной рабочей температурой материала. Предпочтительно нагревательные средства 20 являются локальными сопротивлениями, изготовленными из медных проволок, встроенных в композитный материал, помещенными на поверхность раздела 11 в середине композитного изделия 1. В этом случае средства 40 управления включают в себя генератор тока или напряжения.

Пример размещения сопротивления длиной 20 м в композитной панели 1 м × 1 м показан на виде сверху на фиг.1. В этом примере сопротивление проходит меандроподобным образом по зоне поверхности раздела 11 между центральными слоями 10.

Мощность, потребляемая электрическим сопротивлением, может быть рассчитана на основании следующих соображений.

Управляемый нагрев изделия при температуре выше температуры окружающей среды может сделать возможным эффект сушки. В действительности в условиях равновесия между потоком пластификатора (воды), покидающим изделие и входящим в изделие при температуре выше температуры окружающей среды, давление паров воды при температуре полимера T_p (т.е. температуре матрицы композита) эквивалентно парциальному давлению воды p_w , которое является произведением давления паров воды при температуре окружающей среды и относительной влажности окружающей среды $R.H.$

Итоговая таблица 1 показывает, что легкий нагрев вызывает значительное понижение содержания воды в полимере при равновесных условиях.

T, °C	Давление паров воды, мм рт.ст.	Давление паров воды, атм	T-ра воздуха, °C	T-ра полимера, °C	Коэффициент относительного насыщения	T-ра полимера, °C	Коэффициент относительного насыщения	T-ра полимера, °C	Коэффициент относительного насыщения	T-ра полимера, °C	Коэффициент относительного насыщения
10	9,209	0,0121	10	10	1	20	0,525178	30	0,289373	40	0,166456
15	12,788	0,0168	15	15	1	25	0,538306	35	0,303213	45	0,177908
20	17,535	0,0231	20	20	1	30	0,550999	40	0,316951	50	0,189547
25	23,756	0,0313	25	25	1	35	0,563272	45	0,330495	55	0,201254
30	31,824	0,0419	30	30	1	40	0,57523	50	0,344006	60	0,213041
35	42,175	0,0555	35	35	1	45	0,586742	55	0,357294	65	0,224885
40	55,324	0,0728	40	40	1	50	0,598033	60	0,370357	70	0,236731
45	71,88	0,0946	45	45	1	55	0,608946	65	0,383278	75	0,248634
50	92,51	0,1217	50	50	1	60	0,619293	70	0,395849	80	0,260518
55	118,04	0,1553	55	55	1	65	0,629412	75		85	
60	149,38	0,1966	60	60	1	70	0,639196	80		90	

65	187,54	0,2468	65	65	1	75		85		95	
70	233,7	0,3075	70	70	1	80		90		100	
75	289,1	0,3804	75	75	1	85		95		105	
80	355,1	0,4672	80	80	1	90		100			
90	525,76	0,6918	90	90	1	100					
100	760	1,0000	100	100	1						

Коэффициент относительного насыщения, определенный как (содержание воды/отнесенное к насыщению/относительная влажность окружающей среды), равен отношению:

давление паров воды при температуре окружающей среды)/давление паров воды при температуре полимера).

Например, при температуре воздуха 20°C коэффициент относительного насыщения, когда полимер нагрет на 20°C (полимер при 40°C, окружение при 20°C), составляет 0,32, а для нагрева полимера на 30°C (полимер при 50°C, окружение при 20°C) составляет 0,19.

Это означает, что если, например, окружающая относительная влажность R.H. 85%, при равновесии с полимером, нагретым на 20°C, процент насыщения полимера x_p составляет $0,32 \cdot 0,85 \cdot 100 = 27\%$ от значения насыщения, тогда как при равновесии, когда нагрев полимера составляет 30°C, процент насыщения x_p составляет $0,19 \cdot 0,85 \cdot 100 = 16\%$ от значения насыщения. Например, если привес сухого композита в результате абсорбции воды в окружающей среде с R.H. 100% составляет, например, 2%, равновесный привес при 85% R.H. обычно должен быть равен 1,7%, но должен был бы быть равен только 0,32%, если нагрев композита составил 30°C.

Всегда при стационарных условиях тепловая мощность, требуемая для того, чтобы поддерживать разность температур между полимером и окружающей средой, зависит от теплообмена с окружающей средой путем конвекции. Так, если h есть коэффициент конвекционного обмена и S есть поверхность обмена между рассматриваемой деталью и окружающей средой, тепловая мощность, требуемая для получения разности температур ΔT , составляет $W = h \cdot S \cdot \Delta T$.

Для вертикальной панели в воздухе с теплообменом только за счет естественной конвекции упрощенное безразмерное уравнение приведено в литературе (Perry - Chemical Engineers' Handbook - McGraw-Hill), которое позволяет рассчитать коэффициент h для различных значений безразмерных чисел Грасгофа (Gr) и Прандтля (Pr):

$$h = b(\Delta T)^m \cdot L^{3m-1}$$

где величины b и h приведены для различных условий в следующей таблице 2.

Таблица 2		
$Y = Gr \cdot Pr$	m	b (воздух)
$10^4 < Y < 10^9$	1/4	0,28
$Y > 10^9$	1/3	0,18

и размерностями являются:

$$h = (B.T.E.) / ч \cdot кв. фут \cdot ^\circ F$$

L - фут

ΔT - $^\circ F$.

На основании этих данных при рассмотрении плоской композитной панели 1x1 м (таким образом, 2 кв. м открытой поверхности) в вертикальном положении в воздухе, которая обменивается теплом посредством естественной конвекции, необходимая

мощность для поддержания разности температур ΔT между панелью и внешней средой, которая варьируется с различными значениями безразмерных чисел, для $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ составляет 115-135 Вт, для $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$ составляет 192-231 Вт, для $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ составляет 275-340 Вт.

5 Если нагрев получают электрическим сопротивлением, он управляется законом Ома, и должны рассматриваться следующие уравнения:

$$\Delta V=R*I \quad (1)$$

$$10 \quad W=\Delta V*I=R*I^2=(\Delta V)^2/R \quad (2)$$

$$R=L*\rho/S \quad (3)$$

тогда:

$$15 \quad W=(\Delta V)^2*S/L*\rho \quad (4)$$

и из уравнения (4) видно, что мощность W для заданного напряжения ΔV линейно зависит от площади сечения сопротивления S и является обратной линейной функцией его длины L .

При использовании медного резистора (электрическое удельное сопротивление меди $\rho=0,000000168$ Ом \cdot м) расчет показан для двух случаев (минимальная и максимальная требуемая мощность, 115 и 340 Вт), изложенных выше.

25 При рассмотрении медного резистора с сечением $S=0,025$ мм² и длиной $L=10$ м генерируемая мощность для напряжения $\Delta V=8,8$ В составляет 115 Вт, для напряжения 15,1 В составляет 340 Вт.

Как сообщалось выше, средства измерения 30 размещают в композит для измерения температуры, помещая на различной глубине по толщине (предпочтительно в зонах 30 поверхностей раздела 13, близких к двум наружным поверхностям панели 1 и в зоне поверхности раздела 11 центральной зоны) в положениях, должным образом отстоящих от поверхности. Предпочтительно вставляют также средства измерения 50 для определения влажности, располагая их подобно датчикам температуры 30. Термическими датчиками 30 предпочтительно являются термопары, тогда как 35 датчики влажности 50 основаны на свойстве изменения материала датчика при изменении влажности (обычно материалом является гигроскопичный полимерный материал, изменяющий свой показатель дифракции).

40 На фиг.3 и 4 показан пример схемы расположения датчиков, в основном пригодной и для датчиков влажности 50, и для термических датчиков 30.

45 Когда панель 1 устанавливают на борту летательного аппарата (не показан), датчики 30, 50 функционально соединяют с блоком управления 60, который принимает обеспечиваемые ими данные измерений и обрабатывает их, следуя особому алгоритму. Блок управления 60 в свою очередь функционально соединяют с генератором напряжения 40 для управления нагревом панели 1 на основании данных измерений, обеспечиваемых датчиками 30 и 50.

50 Процесс изготовления изделия согласно изобретению по существу является процессом, типичным для детали, образуемой препрегами на основе штабелирования препрегов с геометрией и ориентацией, предписанными схемой изготовления. В иллюстративных целях далее приведен пример изготовления панели, сделанной из слоев препрега с термореактивной смолой, усиленной длинными волокнами. Первый слой укладывают непосредственно на оснастку, должным образом обработанный

антиадгезивом для предотвращения приклеивания композита к оснастке. Затем укладывают следующие слои, используя их липкость. После завершения укладку закрывают мешком (также используя подходящие вспомогательные материалы) и обрабатывают в цикле с определенными температурой и давлением.

5 Единственное различие между панельным объектом по изобретению и панелью, получаемой обычным способом, заключается в том, что в шаблоне размещение сопротивлений и/или датчиков, размещаемых между n-м и (n+1)-м смежными слоями, проводят после установки n-го слоя и перед установкой (n+1)-го слоя. Для точной
10 установки сопротивления и/или датчиков в заданное положение может быть использован установочный инструмент 100, показанный на фиг.5-7, в котором образованы полости 120 для сопротивлений и датчиков, отвечающие, соответственно, тем положениям, которые желательно придать сопротивлениям и/или датчикам в
15 композитной детали. Указанный инструмент 100 устанавливают, поворачивая его вверх дном и помещая его на слой, на котором предполагается установить сопротивление и/или датчики, и затем удаляют, оставляя в то же время на слое требуемые сопротивления и/или датчики. Например, для сопротивления, показанного на фиг.1, установочный инструмент имеет канавку 120 с меандроподобной
20 геометрией, эквивалентной геометрии сопротивления, и с немного более широким поперечным сечением, чем поперечное сечение сопротивления. Для того чтобы предотвратить любые проблемы извлечения из формы, может быть включено несколько выемочных игл 121, скользящих в направляющих 121а, пересекающих канавку 120.

25 Некоторые варианты осуществления способа использования изделия из композитного материала согласно изобретению описаны далее.

В первом варианте осуществления способ предлагает, что изделие 1 из композитного материала монтируется на борту летательного аппарата таким
30 образом, чтобы иметь нагревательное средство 20 и по меньшей мере средство измерения температуры 30, присоединенные к средствам 40, 50 управления, помещенным на борт летательного аппарата. Альтернативно можно задумать, чтобы средства управления были установлены на земле и чтобы нагревательные средства и средства измерения температуры присоединялись к средствам управления во время
35 стоянки летательного аппарата.

Простого конструирования и изготовления композита со способностью самонагрева уже достаточно для того, чтобы сделать возможным хорошее управление влажностью, когда предусматриваются периодические циклы нагрева путем
40 активации нагревательных средств 20. В этом случае, рассчитав эти циклы на основе знания закона диффузии воды и рабочих окружающих условий, можно пользоваться преимуществами изобретения даже без использования датчиков влажности. Термические датчики в любом случае необходимы, чтобы правильно управлять повышением температуры для того, чтобы получить требуемый эффект снижения
45 влажности.

В качестве примера проведен расчет с компьютерной программой, разработанной самим заявителем с использованием алгоритма, основанного на законе диффузии Фика (одномерный случай), приведенного далее:

50
$$\Phi = -Dx\delta_c/\delta_x$$

Обычно коэффициент диффузии D изменяется с температурой согласно закону Аррениуса:

$$D=D_0*\exp(-E_a/RT),$$

где T представляет температуру в К, E_a представляет энергию активации, а R есть универсальная газовая постоянная.

Следующие примеры показывают расчет процентного содержания воды как функции времени для панели, подвергающейся периодическим циклам абсорбции в процессе работы, чередующимся с периодами нагрева, которые вызывают десорбцию, с тем результатом, что абсорбированная влажность поддерживается ниже заданного порога даже в наихудших условиях.

Примеры

Рассматривается композитная панель толщиной t_h , состоящая из композитного материала, чья величина коэффициента диффузии воды является такой, что при 28°C материал достигает содержания влажности, равного 90% от содержания влажности при насыщении после 10 лет, или эквивалентно он достигает такого же содержания влажности при 80°C после одного месяца, начиная в обоих случаях с сухого состояния.

На основании таких данных может быть рассчитан коэффициент диффузии воды в материале для конкретного случая, однако для определенного класса композитов уровень коэффициента диффузии как функции температуры может быть получен из испытаний по абсорбции при различных температурах.

Для рассматриваемых материала и толщины анализируемыми рабочими условиями являются постоянная температура окружающей среды $T=28^\circ\text{C}$ и относительная влажность 85% (этот случай обычно рассматривают как наихудший для целей сертификации), при обеспечении периодических периодов нагрева панели с $\Delta T=30^\circ\text{C}$, т.е. при 58°C . Нагрев вызывает эффект десорбции: фактически на основании значений, приведенных в таблице 1, с точки зрения относительной влажности окружающей среды, относительная влажность 85% предстает в нагретой панели относительной влажностью $85\%*0,19=16\%$.

На фиг.8-10 показаны кривые абсорбции влажности, которые были рассчитаны для панели в упомянутых выше условиях.

На фиг.8 показано типичное нарастание влажности в панели при чередующихся периодах абсорбции/десорбции при длительных периодах десорбции.

Фиг.9 показывает кривую, относящуюся к периодам работы в 1 месяц, чередующимся с периодами десорбции по 12 ч.

Фиг.10 показывает кривую, относящуюся к периодам работы в 1 месяц, чередующимся с периодами десорбции по 36 ч.

Можно наблюдать, что продолжительность периода десорбции также влияет на асимптотическое значение максимума абсорбированной влажности, которое удерживается ниже заданного значения только на основе теоретико-численного прогноза и при использовании подходящих периодов десорбции без использования датчиков влажности.

Как должно быть ясно, преимущества изобретения состоят в возможности устанавливать габариты структур, не принимая в расчет ухудшение свойств материала вследствие низкой температуры и высокой абсорбции влажности, что включает в себя:

возможность использовать более широкие разрешенные нормы проектирования, которые не затрагиваются ухудшением, вызванным абсорбированной влажностью, получая благодаря этому более легкие структуры;

возможность сертифицировать структуры без проведения испытаний во влажных условиях ни на уровне опытного образца, ни на уровне компонентов и субкомпонентов.

Использование датчиков температуры позволяет получить дополнительные преимущества согласно второму варианту осуществления настоящего метода, где нагрев используют для повышения минимальной рабочей температуры (обычно для применений в авиации -55°C) путем активации нагрева при низкой температуре. Для этой цели предусмотрен этап нагрева посредством активации нагревательных средств 20, когда рабочая температура изделия 1, измеренная средством измерения температуры 30, достигает температуры ниже заданного минимального уровня. В результате можно проектировать деталь для температурного интервала, имеющего более высокий минимум температуры, предотвращая ухудшение некоторых свойств, вызванное низкими температурами, используя более широкие разрешенные нормы проектирования и делая более легкие структуры. Но в этом случае может потребоваться более мощное генерирование тепла, поскольку при работе возможны условия теплообмена с высокой принудительной конвекцией (высокая крейсерская скорость), и это генерирование должно потребоваться в работе. Вместо этого нагрев для осуществления сушки может быть включен в регламент обслуживания на земле во время периодов стоянки летательного аппарата.

Третий вариант осуществления способа включает в себя применение датчиков влажности 50 для активации удаления влаги, когда содержание воды превысит заданный уровень.

Формула изобретения

1. Способ управления абсорбцией влажности в изделии (1), установленном на летательном аппарате, при этом упомянутое изделие изготовлено из композитного материала, включающего в себя множество слоев материала (10), отверждаемых приложением давления и нагрева, в котором каждый слой материала состоит из смоляной матрицы, усиленной волокнистым материалом, отличающийся тем, что способ содержит следующие этапы:

- обеспечение нагревательными средствами (20) и средствами (30) измерения температуры, встроенными в композитный материал, которые помещены соответственно в по меньшей мере одну зону (11, 13) поверхности раздела между такими слоями материала;
- обеспечение средствами (40, 60) управления, которые соединены с упомянутыми нагревательными средствами и средствами измерения температуры; и
- программирование упомянутых средств управления для активации упомянутых нагревательных средств, чтобы нагревать упомянутое изделие согласно периодическим циклам нагрева, при этом упомянутые циклы нагрева рассчитаны на основе закона диффузии влажности внутри композитного материала и на основе данных о температуре и относительной влажности окружающей среды, причем упомянутые данные определены относительно рабочих условий летательного аппарата.

2. Способ по п.1, в котором изделие выполнено в форме панели и нагревательные средства помещены в центральную зону (11) поверхности раздела такой панели.

3. Способ по п.1, в котором изделие выполнено в форме панели и средства измерения температуры помещены в центральную зону (11) поверхности раздела такой панели и в зоны (13) поверхности раздела, близкие к наружным поверхностям такой панели.

4. Способ по п.1, в котором нагревательные средства состоят из по меньшей мере одного электрического сопротивления.

5. Способ по п.4, в котором электрическое сопротивление включает в себя металлическую проволоку, проходящую меандроподобным образом по зоне (11) поверхности раздела между слоями материала.

6. Способ управления абсорбцией влажности в изделии (1), установленном на летательном аппарате, при этом упомянутое изделие изготовлено из композитного материала, включающего в себя множество слоев материала (10), отверждаемых приложением давления и нагрева, в котором каждый слой материала состоит из смоляной матрицы, усиленной волокнистым материалом, отличающийся тем, что способ содержит следующие этапы:

- обеспечение нагревательными средствами (20) и средствами (30) измерения температуры, встроенными в композитный материал, которые помещены соответственно в по меньшей мере одну зону (11, 13) поверхности раздела между такими слоями материала;

- обеспечение средствами (50) измерения влажности, встроенными в такой композитный материал, которые помещены в по меньшей мере одну зону поверхности раздела между слоями материала;

- обеспечение средствами (40, 60) управления, установленными на летательном аппарате и соединенными с упомянутыми нагревательными средствами, средствами измерения влажности и средствами измерения температуры; и

программирование упомянутых средств управления для активации упомянутых нагревательных средств, чтобы нагревать упомянутое изделие, когда относительная влажность в изделии, определенная посредством средств измерения влажности, достигнет значений выше максимального установленного порога.

7. Способ по п.6, в котором изделие выполнено в форме панели и нагревательные средства помещены в центральную зону (11) поверхности раздела такой панели.

8. Способ по п.6, в котором изделие выполнено в форме панели и средства измерения температуры помещены в центральную зону (11) поверхности раздела такой панели и в зоны (13) поверхности раздела, близкие к наружным поверхностям такой панели.

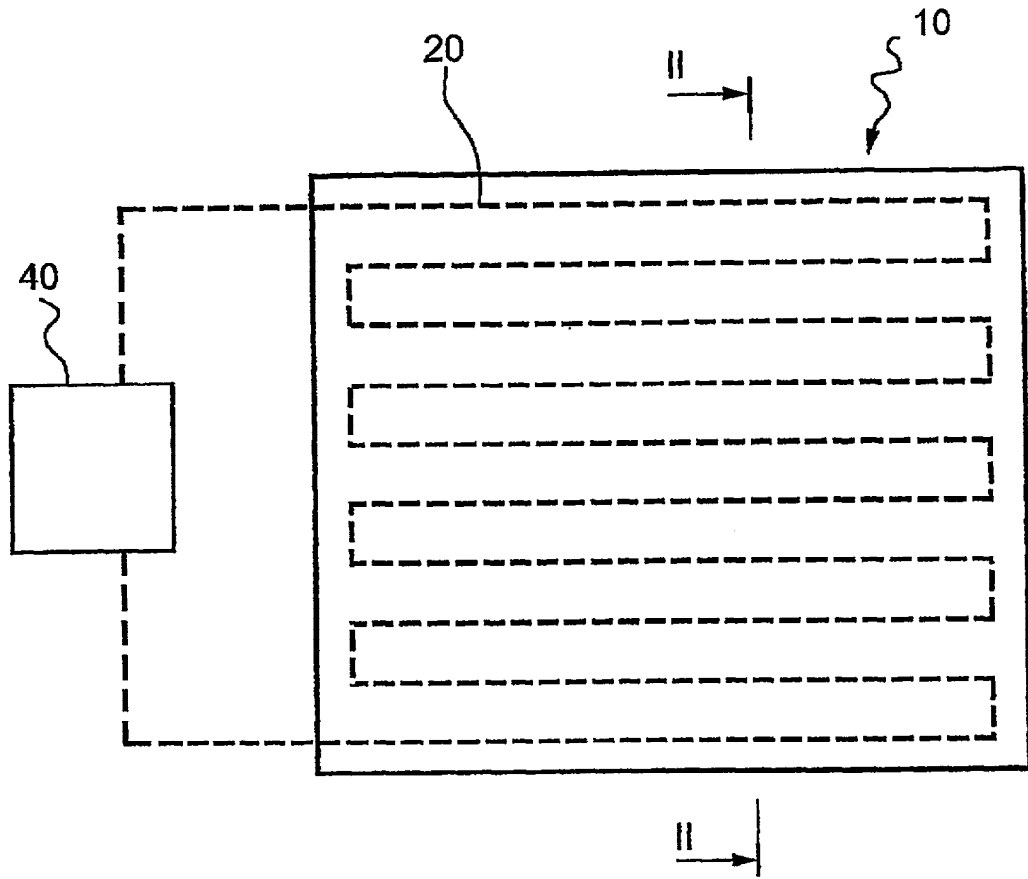
9. Способ по п.6, в котором изделие выполнено в форме панели и средства измерения влажности помещены в центральную зону (11) поверхности раздела такой панели и в зоны (13) поверхности раздела, близкие к наружным поверхностям такой панели.

10. Способ по п.6, в котором нагревательные средства состоят из по меньшей мере одного электрического сопротивления.

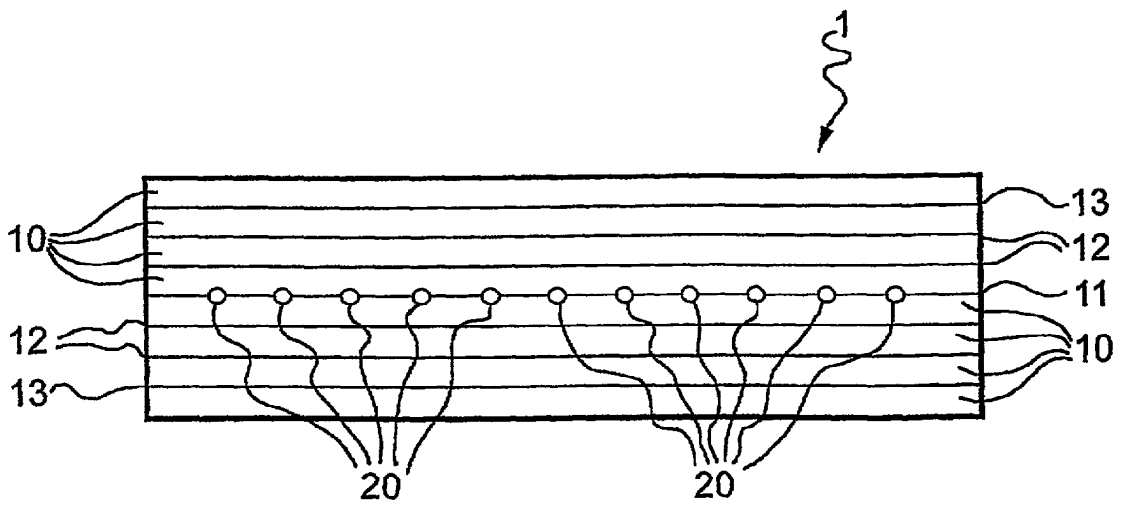
11. Способ по п.10, в котором электрическое сопротивление включает в себя металлическую проволоку, проходящую меандроподобным образом по зоне (11) поверхности раздела между слоями материала.

12. Способ по п.6, в котором средства измерения температуры состоят из по меньшей мере одного датчика типа термопары.

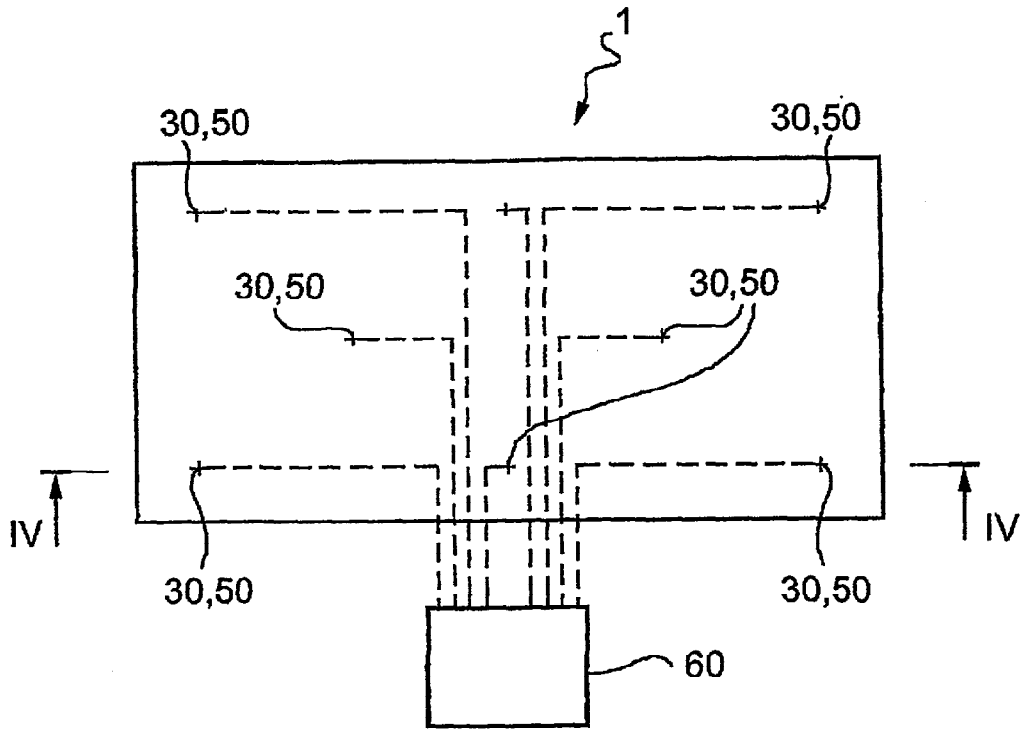
13. Способ по п.6, в котором средства измерения влажности состоят из по меньшей мере одного датчика на основе гигроскопичного полимера.



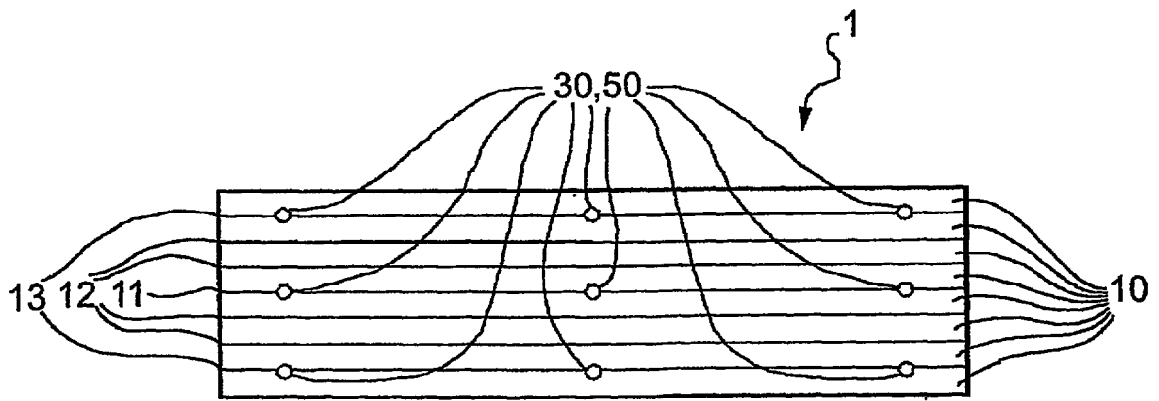
ФИГ. 1



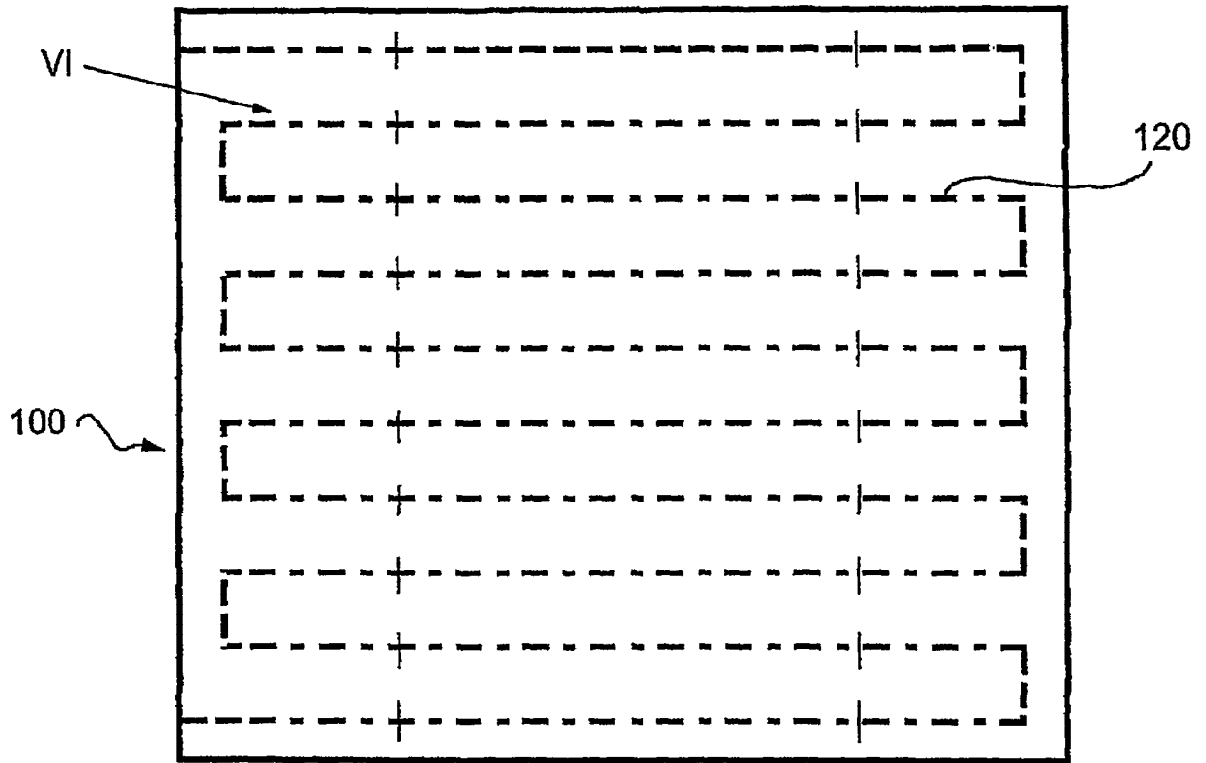
ФИГ. 2



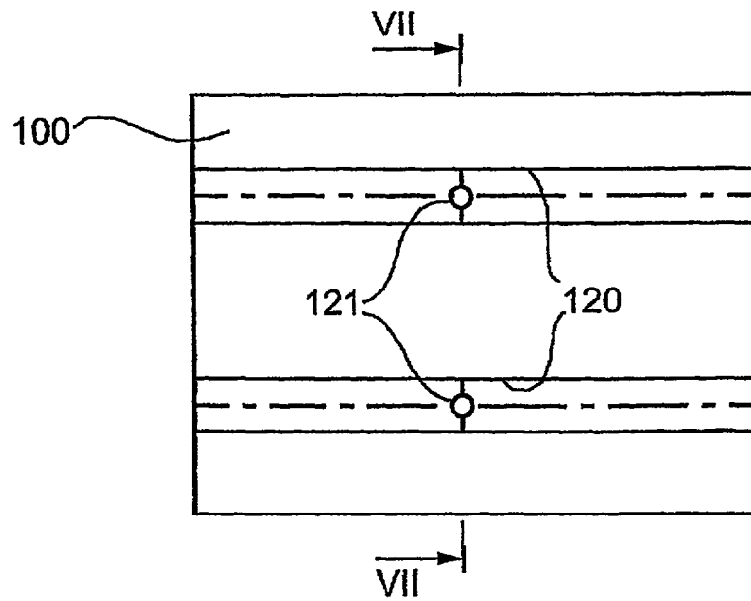
ФИГ. 3



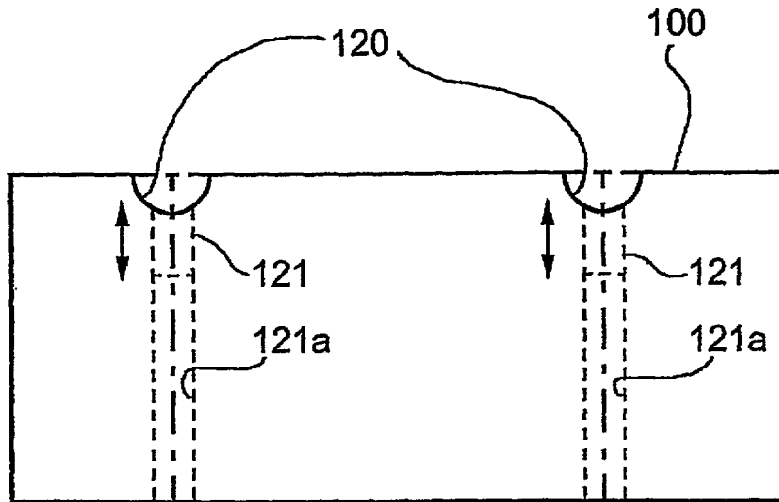
ФИГ. 4



ФИГ. 5



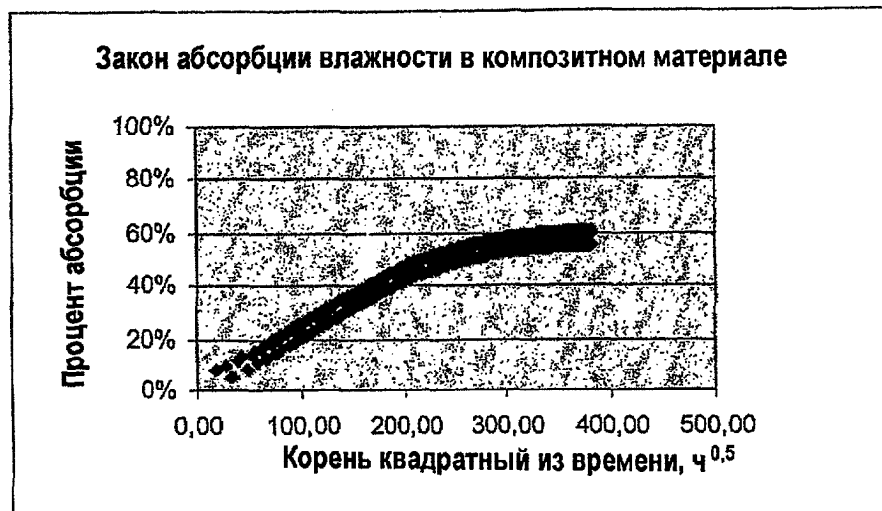
ФИГ. 6



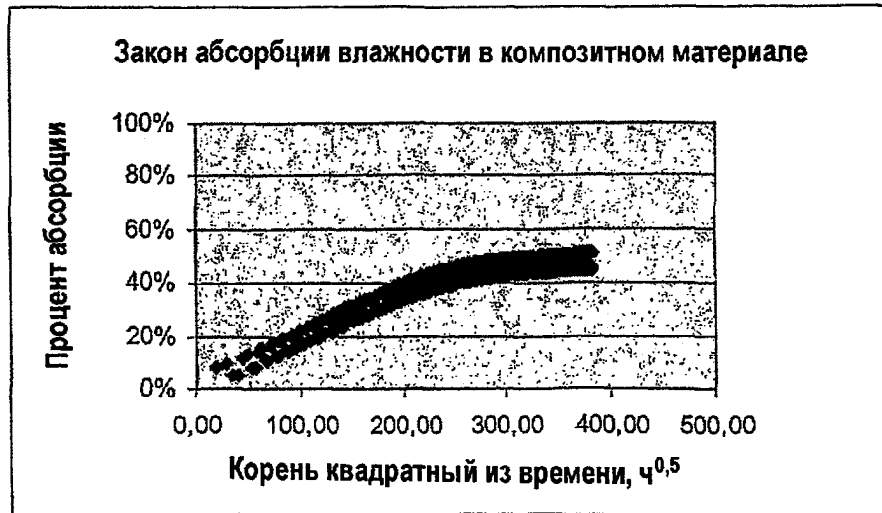
ФИГ. 7



ФИГ. 8



ФИГ. 9



ФИГ. 10