

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **040229**(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2022.05.06**

**(21)** Номер заявки  
**201790161**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2015.08.04**

**(51)** Int. Cl. **B01D 53/14** (2006.01)  
**B01D 53/62** (2006.01)  
**C01B 31/20** (2006.01)  
**G05D 7/06** (2006.01)  
**G05D 11/08** (2006.01)

---

**(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ СКОРОСТЬ ЭТАПОВ В УДАЛЕНИИ ВОДЫ**

---

**(31)** **62/033,366**

**(32)** **2014.08.05**

**(33)** **US**

**(43)** **2017.11.30**

**(86)** **PCT/US2015/043540**

**(87)** **WO 2016/022522 2016.02.11**

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**СОЛИДИА ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.**  
**(US)**

**(56)** US-A1-20140044632  
US-A1-20120227389  
US-A1-20140322083  
US-A1-20090235719  
US-A-5112592

**(72)** Изобретатель:  
**Пэттен Девин, Атакан Вахит, Касторо  
Даниэль, Равикумар Дипак, Капплер  
Джон, Дженсен Стивен, Скентлибери  
Марк, Смит Кеннет Майкл, Мора  
Хорхе, Рохас Эмануэль, Шулер Том,  
Блэклок Алан (US)**

**(74)** Представитель:  
**Микуцкая Т.Ю., Файбисович А.С.,  
Рогова Е.В. (RU)**

---

**(57)** Изобретение охватывает оборудование, применяемое для подготовки циркулирующего газового потока, чтобы отверждать CO<sub>2</sub> композитный материал (СКМ), и способы, которые применяют такое оборудование, чтобы отверждать СКМ. Оборудование для подготовки газа предусматривает способ, который регулирует, снижает или устраняет ограничивающие скорость этапы, связанные с удалением воды во время отверждения композитного материала. Данное оборудование может включать в себя регулирование температуры, относительной влажности, скорости потока, давления и концентрации диоксида углерода в системе, но не ограничивается этим. Система включает в себя подготавливающее оборудование, какой-либо резервуар, содержащий СКМ, и сам материал. Регулирование скорости потока может быть использовано в качестве средства достижения равномерности, скорости и состава газа.

---

**B1****040229****040229****B1**

### **Перекрестная ссылка на родственные заявки**

Данная заявка испрашивает приоритет к одновременно рассматриваемой, предварительной патентной заявке США с порядковым № 62/033366, зарегистрированной 5 августа 2014 г., которая включена сюда посредством ссылки во всей своей полноте.

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Данное изобретение касается в общем систем и способов для отверждения композитных материалов и в частности систем и способов, которые регулируют содержание воды в композите, когда он затвердевает.

### **Уровень техники изобретения**

В технике известны камеры для отверждения для многих систем материалов, включая камеры, которые организованы так, чтобы заставлять материалы претерпевать особые химические реакции. Некоторые проблемы, которые связаны с обычными камерами для отверждения, включают в себя их стоимость, их ограничения в отношении рабочих условий и положений и точность, с которой можно контролировать процесс отверждения.

Существует потребность в камерах и способах отверждения, которые обеспечивают разносторонность, точность и пониженную стоимость.

### **Сущность изобретения**

Согласно одному аспекту данное изобретение представляет систему для отверждения материала, который требует  $\text{CO}_2$  в качестве отвердителя. Данный материал не затвердевает в отсутствие  $\text{CO}_2$ . Материал не потребляет воду в качестве реагента. Система для отверждения содержит камеру для отверждения, организованную так, чтобы содержать материал, который потребляет  $\text{CO}_2$  в качестве реактанта (или реагента) и который не затвердевает в отсутствие  $\text{CO}_2$ . Камера для отверждения имеет

по меньшей мере один порт, организованный так, чтобы позволять вводить материал в камеру для отверждения и удалять из камеры для отверждения, и имеет по меньшей мере один затвор для данного порта, где данный затвор организован так, чтобы обеспечивать атмосферную герметичность в закрытом состоянии, чтобы предотвращать (или ограничивать до безопасного уровня) загрязнение газа, присутствующего в камере для отверждения, газом извне камеры для отверждения;

источник диоксида углерода, организованный так, чтобы обеспечивать газообразный диоксид углерода в камеру для отверждения посредством газового входного порта в камере для отверждения, где источник диоксида углерода имеет по меньшей мере одно устройство регулирования потока, организованное так, чтобы регулировать скорость потока газообразного диоксида углерода в камеру для отверждения;

подсистему протока газа, организованную так, чтобы вызывать циркуляцию газа через камеру для отверждения во время периода времени, когда затвердевает материал, который потребляет  $\text{CO}_2$  в качестве реагента;

подсистему контроля температуры, организованную так, чтобы регулировать температуру газа внутри камеры;

подсистему контроля влажности, организованную так, чтобы регулировать влажность газа внутри камеры, увеличивая или уменьшая влажность; и

по меньшей мере один контроллер в сообщении с по меньшей мере одним из источника диоксида углерода, подсистемы протока газа, подсистемы контроля температуры и подсистемы контроля влажности; и

по меньшей мере один контроллер, организованный так, чтобы независимо регулировать в течение периода времени, когда затвердевает материал, который потребляет  $\text{CO}_2$  в качестве реагента по меньшей мере одно из скорости потока газообразного диоксида углерода, циркуляции газа через камеру для отверждения, температуры газа и влажности газа.

Согласно одному аспекту данное изобретение представляет систему для отверждения материала, отверждаемого с помощью реакции с диоксидом углерода. Система для отверждения содержит систему подготовки газа и камеру для отверждения, связанные вместе с помощью трубы для подачи газа и трубы для отвода газа, где камера для отверждения организована так, чтобы содержать материал, отверждаемый путем реакции с диоксидом углерода. Система подготовки газа включает в себя источник диоксида углерода, подсистему протока газа, подсистему контроля температуры, подсистему контроля влажности и подсистему для контроля параметров способа отверждения. Подсистема для контроля параметров способа отверждения содержит контроллер, имеющий микропроцессор, организованный так, чтобы работать под управлением набора инструкций, записанных на первом машинно-читаемом носителе, так, чтобы регулировать способ отверждения материала, отверждаемого путем реакции с диоксидом углерода.

Согласно одному аспекту данное изобретение представляет контроллер. Данный контроллер содержит микропроцессор, организованный так, чтобы работать под управлением набора инструкций, записанных на первом машинно-читаемом носителе, где микропроцессор, который работает под управлением набора инструкций, выполняет следующие этапы:

регулирование работы по меньшей мере одного из источника диоксида углерода, подсистемы протока газа, подсистемы контроля температуры и подсистемы контроля влажности;

установление течения рабочего газа, содержащего диоксид углерода, так чтобы осуществлять контакт отверждаемого материала с диоксидом углерода в рабочем газе;

контроль по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы параметров, состоящей из времени, прошедшего от установления потока, концентрации диоксида углерода, относительной влажности, скорости потока, температуры и давления рабочего газа, когда обеспечивается рабочий газ; и

выполнение по меньшей мере одного из записи по меньшей мере одного из контролируемых параметров, переноса по меньшей мере одного из контролируемых параметров в систему обработки данных или отображения по меньшей мере одного из контролируемых параметров пользователю.

В одном варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап получения стартовой команды из внешнего источника.

В другом варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап определения, заполнена ли камера для отверждения надлежащим образом.

В еще одном варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап определения, закрыта ли камера для отверждения надлежащим образом.

В еще одном варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап определения состояния затвердевания материала, отверждаемого путем реакции с диоксидом углерода.

В другом варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап контроля по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы параметров, состоящей из концентрации диоксида углерода, относительной влажности, скорости потока, температуры, давления и продолжительности течения рабочего газа, когда рабочий газ удаляется из состояния контакта с материалом, отверждаемым путем реакции с диоксидом углерода.

В еще одном варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап контроля по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы параметров, состоящей из концентрации диоксида углерода, относительной влажности, скорости потока, температуры и давления в одном или нескольких положениях внутри камеры для отверждения.

В дополнительном варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап получения входного сигнала от пользователя, отражающего один или несколько рабочих параметров, составляющих этап выполняемого способа.

В еще одном варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап записи на долговременном машинно-читаемом носителе входного сигнала от пользователя в качестве этапа в вводе данных способа.

В еще одном варианте осуществления микропроцессор, когда работает под управлением набора инструкций, выполняет этап воспроизведения по меньшей мере одного этапа из ввода способа, записанного на долговременном машинно-читаемом носителе.

В одном варианте осуществления первый машинно-читаемый носитель и долговременный машинно-читаемый носитель представляют собой один и тот же носитель.

Согласно другому аспекту данное изобретение касается подсистемы протока газа. Подсистема протока газа содержит по меньшей мере один элемент из клапана, регулятора потока, массового контроллера потока, вентилятора и конструкции для подачи газа; подсистема протока газа организована так, чтобы обеспечивать рабочий газ, содержащий диоксид углерода в качестве реагента, в проточном контакте с материалом, отверждаемым путем реакции с диоксидом углерода.

В одном варианте осуществления подсистема протока газа совместима с водяным паром в добавление к рабочему газу, содержащему диоксид углерода в качестве реагента.

В другом варианте осуществления подсистема протока газа совместима с воздухом в добавление к рабочему газу, содержащему диоксид углерода в качестве реагента.

В еще одном варианте осуществления конструкция для подачи газа внедрена в материал, отверждаемый путем реакции с диоксидом углерода.

В еще одном варианте осуществления конструкция для подачи газа представляет собой газопроницаемый слой, расположенный возле материала, отверждаемого путем реакции с диоксидом углерода.

В другом варианте осуществления подсистема протока газа дополнительно содержит коммуникационный порт, организованный так, чтобы принимать контрольные сигналы от контроллера.

В еще одном варианте осуществления подсистема протока газа дополнительно содержит коммуникационный порт, организованный так, чтобы передавать в контроллер сигнал, кодирующий по меньшей мере один параметр из концентрации диоксида углерода, относительной влажности, скорости потока, температуры и давления рабочего газа.

В дополнительном варианте осуществления подсистема протока газа дополнительно содержит трубы отвода газа.

В еще одном варианте осуществления подсистема протока газа дополнительно содержит коммуникационный порт, организованный так, чтобы передавать в контроллер сигнал, кодирующий по меньшей мере один параметр из концентрации диоксида углерода, относительной влажности, скорости потока, температуры и давления газа, присутствующего в трубах отвода газа.

Согласно другому аспекту данное изобретение касается подсистемы контроля температуры. Подсистема контроля температуры содержит по меньшей мере один элемент, выбранный из нагревателя и охладителя, причем подсистема контроля температуры организована так, чтобы регулировать температуру рабочего газа, содержащего диоксид углерода, так, чтобы заставлять рабочий газ достигать желаемой температуры до вступления в контакт с материалом, отверждаемым путем реакции с диоксидом углерода в рабочем газе.

В одном варианте осуществления подсистема контроля температуры дополнительно содержит датчик, организованный так, чтобы измерять температуру газа.

В другом варианте осуществления данный датчик является термопарой.

В еще одном варианте осуществления подсистема контроля температуры дополнительно содержит датчик, организованный так, чтобы измерять относительную влажность.

В еще одном варианте осуществления подсистема контроля температуры дополнительно содержит коммуникационный порт, организованный так, чтобы передавать в контроллер сигнал, представляющий по меньшей мере одно из величины температуры и величины относительной влажности.

В другом варианте осуществления подсистема контроля температуры дополнительно содержит коммуникационный порт, организованный так, чтобы получать контрольный сигнал из контроллера.

В еще одном варианте осуществления подсистема контроля температуры организована так, чтобы использовать контрольный сигнал, чтобы заставлять работать по меньшей мере один элемент, выбранный из нагревателя и охладителя.

Согласно другому аспекту данное изобретение касается подсистемы контроля влажности. Подсистема контроля влажности содержит по меньшей мере один элемент, выбранный из источника водяного пара и устройства удаления водяного пара, причем подсистема контроля влажности организована так, чтобы регулировать влажность рабочего газа, содержащего диоксид углерода, так, чтобы заставлять рабочий газ достигать влажности до вступления в контакт с материалом, отверждаемым путем реакции с диоксидом углерода в рабочем газе.

В одном варианте осуществления источник водяного пара содержит источник воды, клапан и распылительную головку.

В другом варианте осуществления источник водяного пара содержит парогенератор.

В еще одном варианте осуществления парогенератор содержит погружаемый нагреватель.

В другом варианте осуществления источник водяного пара содержит барботер, содержащий воду, через которую может барботироваться газ.

В еще одном варианте осуществления устройство удаления водяного пара представляет собой холодильный компрессор.

В еще одном варианте осуществления устройство удаления водяного пара представляет собой конденсатор.

В еще одном варианте осуществления устройство удаления водяного пара представляет собой теплообменник.

В другом варианте осуществления подсистема контроля влажности дополнительно содержит датчик влажности, организованный так, чтобы измерять относительную влажность рабочего газа.

В еще одном варианте осуществления подсистема контроля влажности дополнительно содержит коммуникационный порт, организованный так, чтобы передавать в контроллер сигнал, представляющий относительную влажность.

В дополнительном варианте осуществления подсистема контроля влажности дополнительно содержит коммуникационный порт, организованный так, чтобы получать контрольный сигнал из контроллера.

В еще одном варианте осуществления подсистема контроля влажности организована так, чтобы использовать данный контрольный сигнал, чтобы заставлять работать по меньшей мере одно устройство из источника водяного пара и устройства удаления водяного пара.

Согласно одному аспекту данное изобретение содержит камеру для отверждения. Камера для отверждения содержит

оболочку, задающую закрытый объем, причем данная оболочка содержит стенку, организованную так, чтобы содержать материал, отверждаемый путем реакции с диоксидом углерода в рабочем газе, и данная оболочка содержит закрываемое отверстие, организованное так, чтобы позволять вводить отверждаемый материал в оболочку;

входной порт, организованный так, чтобы позволять рабочему газу, содержащему диоксид углерода, входить в оболочку; и

выходной порт, организованный так, чтобы позволять рабочему газу выходить из оболочки.

В одном варианте осуществления камера для отверждения дополнительно содержит камеру, организованную так, чтобы обеспечивать рабочий газ одним или несколькими местами, в которых рабочий газ может впрыскиваться в оболочку.

В другом варианте осуществления данная камера организована так, чтобы регулировать по меньшей мере один параметр из скорости потока, направления потока и режима потока рабочего газа в оболочке.



В еще одном варианте осуществления данная камера организована так, чтобы направлять поток рабочего газа в по меньшей мере одно место снаружи отверждаемого материала и во внутренний проход, заданный в отверждаемом материале.

В еще одном варианте осуществления входной порт организован так, чтобы регулировать по меньшей мере один параметр из скорости потока, направления потока и режима потока рабочего газа в оболочке.

В другом варианте осуществления выходной порт организован так, чтобы регулировать по меньшей мере один параметр из скорости потока, направления потока и режима потока рабочего газа в оболочке.

В еще одном варианте осуществления данная стенка является гибкой стенкой.

В дополнительном варианте осуществления гибкая стенка изготовлена из материала, выбранного из пластика, Mylar® и латекса.

В еще одном варианте осуществления гибкая стенка включает в себя покрытие, организованное так, чтобы удерживать тепловую энергию.

В еще одном варианте осуществления данная стенка включает в себя окно, покрытое материалом, который является прозрачным в интересующей спектральной области.

В еще одном варианте осуществления по меньшей мере один датчик присутствует внутри данной оболочки, причем данный по меньшей мере один датчик организован так, чтобы обеспечивать данные о по меньшей мере одном из свойств рабочего газа и рабочих условий внутри оболочки.

Согласно другому аспекту данное изобретение касается способа литья на месте. Способ литья на месте содержит этапы

подготовки места, в котором должен находиться материал, отверждаемый путем реакции с диоксидом углерода в рабочем газе;

размещения конструкции для подачи рабочего газа и материала, отверждаемого путем реакции с диоксидом углерода, в подготовленном месте; и

обеспечения рабочего газа к отверждаемому материалу с помощью конструкции для подачи рабочего газа в течение периода времени, достаточного длительного, чтобы вызывать затвердевание отверждаемого материала.

В одном варианте осуществления конструкция для подачи рабочего газа остается с отверждаемым материалом после завершения процесса затвердевания.

В другом варианте осуществления способ литья на месте дополнительно содержит этап покрытия конструкции для подачи рабочего газа и материала, отверждаемого путем реакции с диоксидом углерода, после того как их размещают в подготовленном месте.

В еще одном варианте осуществления этап обеспечения рабочего газа включает в себя регулирование параметра рабочего газа, выбранного из группы параметров, состоящей из времени, истекшего от установления потока, концентрации диоксида углерода, относительной влажности, скорости потока, температуры и давления рабочего газа, когда обеспечивается рабочий газ.

В еще одном варианте осуществления способ литья на месте дополнительно содержит этап регулирования количества воды, присутствующей в материале, отверждаемом путем реакции с диоксидом углерода.

В другом варианте осуществления этап регулирования количества воды, присутствующей в отверждаемом материале, содержит одно из удаления воды из материала или добавления воды в материал.

Вышеуказанные и другие объекты, аспекты, признаки и преимущества данного изобретения станут более понятны из последующего описания и из формулы изобретения.

#### **Краткое описание чертежей**

Объекты и признаки данного изобретения могут быть легче поняты со ссылкой на нижеописанные чертежи и формулу изобретения. Чертежи не обязательно приведены в масштабе, вместо этого акцент обычно делается на иллюстрацию принципов данного изобретения. На чертежах одинаковые численные обозначения используются, чтобы обозначать одинаковые части на всех разных видах.

Фиг. 1 представляет собой схематичное изображение одного варианта осуществления системы для отверждения для использования с CO<sub>2</sub> композитным материалом.

Фиг. 2 представляет собой схематичное изображение одного варианта осуществления альтернативной системы для отверждения для использования с CO<sub>2</sub> композитным материалом.

Фиг. 3 представляет собой вид в перспективе камеры для отверждения для отверждения вытянутых образцов из CO<sub>2</sub> композитного материала.

Фиг. 4 представляет собой вид камеры для отверждения с фиг. 3, содержащей вытянутый отверждаемый образец из CO<sub>2</sub> композитного материала.

Фиг. 5 представляет собой вид камеры для отверждения с фиг. 3, когда она закрыта, позволяя выполнять отверждение.

Фиг. 6 представляет собой изображение камеры, применяемой, чтобы подавать атмосферу для отверждения к образцу CO<sub>2</sub> композитного материала, имеющему внутренний круглый канал.

Фиг. 7 представляет собой изображение образца CO<sub>2</sub> композитного материала, который затвердел с использованием внутреннего круглого канала.

Фиг. 8 представляет собой изображение, которое иллюстрирует различие в глубине реакции как функции скорости потока.

Фиг. 9 представляет собой график, который иллюстрирует различия в глубине реакции, газовом потоке в кубических футах в минуту и количестве воды, удаляемой из образцов  $\text{CO}_2$  композитного материала, затвердевших в системе, использующей 1 вентилятор и 3 вентилятора.

Фиг. 10 представляет собой график, показывающий данные по скорости удаления воды, как функции скорости потока для газов, имеющих разную относительную влажность.

Фиг. 11 представляет собой блок-схему способа, изображающую этапы размещения и отверждения композитного материала в наружном положении.

Фиг. 12 представляет собой изображение, которое показывает дырчатую ПВХ решетку, используемую для подачи газа в секцию литья на месте проницаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала.

Фиг. 13 представляет собой изображение, которое показывает проницаемый  $\text{CO}_2$  композитный материал, наливаемый поверх системы подачи газа с фиг. 12.

Фиг. 14 представляет собой изображение, которое показывает секцию проницаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала, которая покрыта пластиковым покрытием и которая имеет присоединенный к нему вход  $\text{CO}_2$ .

Фиг. 15 представляет собой изображение, которое показывает регуляторы потока газа и измеритель потока, применяемые, чтобы регулировать подачу  $\text{CO}_2$  в секцию проницаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала с фиг. 14.

Фиг. 16 представляет собой изображение, которое показывает затвердевшую секцию проницаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала после 22 ч применения встроенной системы подачи  $\text{CO}_2$  с фиг. 12.

Фиг. 17 представляет собой блок-схему, показывающую этапы размещения и отверждения  $\text{CO}_2$  композитного материала при использовании способа литья на месте.

Фиг. 18 представляет собой изображение, показывающее форму, которая позволяет подачу  $\text{CO}_2$  к материалу Enkaivent® и сквозь него.

Фиг. 19 представляет собой изображение, показывающее незатвердевшую смесь  $\text{CO}_2$  композитного материала для использования в способе литья на месте.

Фиг. 20 представляет собой изображение, показывающее форму 1800 после заливки  $\text{CO}_2$  композитного материала и присоединения линии рабочего газа для отверждения  $\text{CO}_2$  композитного материала с помощью  $\text{CO}_2$ .

Фиг. 21 представляет собой изображение, показывающее секцию, отрезанную от пластины  $\text{CO}_2$  композитного материала после отверждения карбонизацией.

Фиг. 22 представляет собой изображение камеры для отверждения, сделанной из гибкого материала.

Фиг. 23 представляет собой изображение гибкого материала, устанавливаемого для формирования камеры для отверждения с фиг. 22.

Фиг. 24 представляет собой изображение способа фиксации для удерживания гибкого материала камеры для отверждения с фиг. 22 к жесткой опоре.

Фиг. 25 представляет собой изображение другого варианта осуществления камеры для отверждения, имеющей некоторые гибкие стенки и некоторые относительно жесткие стенки.

Фиг. 26 представляет собой изображение модульной системы подачи газа, которая может быть использована с различными камерами для отверждения.

Фиг. 27 представляет собой схематичное изображение, показывающее систему подачи газа, которая имеет множество портов подачи газа и множество портов отвода газа.

Фиг. 28 представляет собой скриншот компьютерной контрольной системы для камеры для отверждения, показывающий схему контролируемой системы.

Фиг. 29 представляет собой скриншот компьютерной контрольной системы для камеры для отверждения, показывающий ряд компонентов, которые можно контролировать, и показывающий, как могут отображаться величины измеряемых параметров.

Фиг. 30 представляет собой скриншот компьютерной контрольной системы для камеры для отверждения, показывающий экран ввода, на котором параметры для разных периодов или шагов способа отверждения могут вводиться пользователем и отображаться для пользователя.

Фиг. 31 представляет собой скриншот-изображение доклада об истории операции отверждения, показывающее график 3100, на котором кривая 3110 представляет весь поглощенный  $\text{CO}_2$ , кривая 3120 представляет относительную влажность, а кривая 3130 представляет температуру.

#### **Подробное описание**

Данное изобретение касается способов обработки или "отверждения" композитных материалов посредством регулирования атмосферных условий в материале и вокруг него точным образом, а также оборудования для выполнения этого.

Включение посредством ссылки.

Любой патент, патентная заявка, публикация патентной заявки, статья в журнале, книга, опубликованный документ или другой, публично доступный материал, указанный в данном описании, включен сюда посредством ссылки во всей своей полноте. Любой материал или его часть, про который упомина-

ется, что он включен сюда посредством ссылки, но который конфликтует с существующими определениями, установлениями или другим материалом описания, точно изложенными здесь, включается сюда только в той степени, которая не создает конфликта между этим включенным материалом и материалом настоящего описания. В случае конфликта данный конфликт следует разрешать в пользу настоящего описания как предпочтительного содержания.

CO<sub>2</sub> композитный материал.

Настоящее изобретение основано отчасти на применении материалов, которые подвергаются отверждению в присутствии диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), который может подаваться в газообразной форме и который считается активным в гидратированной форме (например, в виде водорастворимого карбоната, производного от H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Затвердевшие материалы, которые являются результатом таких процессов, будут совместно называться здесь "CO<sub>2</sub> композитный материал" (СКМ) или "CO<sub>2</sub> композитные материалы" (СКМ). Химия и приготовление различных типов CO<sub>2</sub> композитных материалов описываются в различных патентных документах, включая публикацию патентной заявки США № 20140127450 A1, опубликованную 8 мая 2014 г., и публикацию патентной заявки США № 20140127458 A1, опубликованную 8 мая 2014 г.

CO<sub>2</sub> композитный материал может демонстрировать эстетические визуальные узоры, а также демонстрировать прочность на сжатие, прочность на изгиб и поглощение воды, аналогичные свойствам соответствующих природных материалов. CO<sub>2</sub> композитный материал может быть получен с использованием эффективного способа гидротермического жидкофазного спекания (HLPS) с участием газовой фазы с низкими затратами и улучшенным расходом энергии и захватом углерода. Действительно в предпочтительных вариантах осуществления данного способа CO<sub>2</sub> расходуется в качестве реакционных частиц, приводя к конечному связыванию CO<sub>2</sub>.

Может быть изготовлен CO<sub>2</sub> композитный материал, демонстрирующий различные узоры, текстуры и другие характеристики, такие как визуальные изображения различных цветов. Кроме того, CO<sub>2</sub> композитный материал демонстрирует прочность на сжатие, прочность на изгиб и поглощение воды, аналогичные обычному бетону. CO<sub>2</sub> композитные материалы можно отверждать на месте, где их легко использовать, за временные интервалы (такие как часы), которые часто заметно меньше чем времена, требуемые для отверждения обычного бетона (от дней до недель). Кроме того, CO<sub>2</sub> композитные материалы могут быть получены с использованием энергетически эффективного HLPS способа и могут изготавливаться с меньшими затратами и с благоприятным воздействием на окружающую среду. Например, в предпочтительных вариантах осуществления данного изобретения CO<sub>2</sub> используется в качестве реагирующего вещества, приводя к изоляции CO<sub>2</sub> в полученных CO<sub>2</sub> композитных материалах с захватом углерода, недостижимым с помощью любой существующей производственной технологии. HLPS способ термодинамически направляется свободной энергией химической реакции и снижением поверхностной энергии (площади), вызываемой ростом кристаллов. Кинетика HLPS способа протекает с заметной скоростью при низкой температуре, так как для переноса реакционных частиц применяется раствор (водный или неводный) вместо использования текучей среды с высокой точкой плавления или высокотемпературной твердой среды.

Обсуждение различных аспектов HLPS можно найти в патенте США № 8114367, публикации США № US 2009/0143211 (серийный № заявки 12/271566), публикации США № US 2011/0104469 (серийный № заявки 12/984299), публикации США № 20090142578 (серийный № заявки 12/271513), WO 2009/102360 (PCT/US 2008/083606), WO 2011/053598 (PCT/US 2010/054146), WO 2011/090967 (PCT/US 2011/021623), заявке США с серийным № 13/411218, зарегистрированной 2 марта 2012 г. (Riman et al.), заявке США с серийным № 13/491098, зарегистрированной 7 июня 2012 г. (Riman et al.), предварительной патентной заявке США № 61/708423, зарегистрированной 1 октября 2012 г. и предварительных патентных заявках США № 61/709435, 61/709453, 61/709461 и 61/709476, все из которых зарегистрированы 4 октября 2012 г., каждая из которых определенно включена сюда посредством ссылки во всей своей полноте для всех целей.

Выражение "лимитирующий скорость этап" или "лимитирующие скорость этапы" относится к одному или нескольким этапам, которые ограничивают или регулируют время, которое требует реакция карбонизации.

Поток представляет собой движение газа, описываемое как скорость и/или объем, применяя скорость в фут/с (футы в секунду) или по объему в фут<sup>3</sup>/мин (кубические футы в минуту).

Термин "температура" или "температурный интервал" относится к одному или нескольким параметрам из температуры по всей внутренней системе, температуры газа и температуры образца.

Термин "относительная влажность" относится к отношению парциального давления водяного пара в газе в системе к давлению насыщенного пара воды в этом газе при определенной температуре, которое может варьировать по системе.

Термин "концентрация CO<sub>2</sub>" отражает количество CO<sub>2</sub> в системе, деленное на полный объем газа в этой системе, выраженное в процентах.

Данное изобретение предлагает способ, который максимизирует скорость карбонизации композитного материала путем регулирования скорости сушки этого материала. Данный способ может включать в

себя продолжительность карбонизации от 0 до 1000 ч. Данный способ может включать в себя  $\text{CO}_2$  композитный материал, который имеет проницаемость в интервале от 0 до 100%. Данный способ может включать в себя  $\text{CO}_2$  композитный материал, который имеет глубину карбонизации СКМ в интервале от 0 до 36 дюймов (от 0 до 91,4 см). Данный способ может включать в себя  $\text{CO}_2$  композитный материал, в котором количество воды, удаляемой из СКМ, составляет от 0 до 99% от массы СКМ.

Данное изобретение охватывает оборудование, применяемое, чтобы подготавливать поток циркулирующего газа, чтобы отверждать СКМ, и способы, которые используют такое оборудование, чтобы отверждать СКМ. Данное оборудование для подготовки газа предполагает способ, который регулирует, уменьшает или устраняет ограничивающие скорость этапы, связанные с удалением воды во время отверждения композитного материала. Данное оборудование может включать в себя регулирование температуры, относительной влажности, скорости потока, давления и концентрации диоксида углерода в системе, но не ограничивается этим; оборудование включает в себя подготавливающее оборудование, любой резервуар, содержащий СКМ, и сам материал. Регулирование скорости потока может использоваться как средство достижения однородности, скорости и состава газа.

Данное оборудование может содержать различные подсистемы. Подсистемы могут включать в себя камеру для отверждения, источник диоксида углерода, подсистему протока газа, подсистему контроля температуры, подсистему контроля влажности и контроллер в сообщении с по меньшей мере одним из источников диоксида углерода, подсистемы протока газа, подсистемы контроля температуры и подсистемы контроля влажности; и по меньшей мере один контроллер организован так, чтобы независимо регулировать в течение периода времени, когда затвердевает материал, который потребляет  $\text{CO}_2$  в качестве реагента, по меньшей мере один параметр из скорости потока газообразного диоксида углерода, циркуляции газа по камере для отверждения, температуры газа и влажности газа.

Камеры для отверждения.

Различные типы камер и устройств для отверждения могут применяться для отверждения СКМ. Некоторые камеры и устройства для отверждения могут быть обеспечены в постоянных или полупостоянных установках, тогда как другие могут быть использованы в течение некоторого времени (например, временная установка), а некоторые могут быть использованы единожды (например, отверждение СКМ на месте, например в некоторых наружных местах, например отверждение СКМ для формирования плиты для пешеходной дорожки, подъездной дороги, шоссе, летной полосы или опорной плиты для некоторой конструкции). Фиг. 1 и 2 представляют собой схематичные изображения вариантов осуществления системы для отверждения для использования с  $\text{CO}_2$  композитным материалом.

В некоторых вариантах осуществления сама камера или оболочка может быть разработана для одного или нескольких повторений способа отверждения или может быть разработана так, чтобы сохраняться для неопределенно большого числа повторений способа отверждения. В некоторых вариантах осуществления относительная стоимость камеры по сравнению с ценой отверждаемого продукта будет служить руководством для материалов и способов сооружения камеры или оболочки.

Источник диоксида углерода.

Диоксид углерода может обеспечиваться из любого обычного источника, который может подавать достаточные количества газа с достаточно высокой чистотой. В некоторых вариантах осуществления источником диоксида углерода является газ, выделяемый из жидкого диоксида углерода. В некоторых вариантах осуществления источником диоксида углерода является газ, обеспеченный в виде газа в цилиндре высокого давления. В некоторых вариантах осуществления источником диоксида углерода является выброс из системы сгорания, который обрабатывают, чтобы обеспечить подачу очищенного диоксида углерода.

Подсистема протока газа.

В некоторых вариантах осуществления обеспечивается подсистема протока газа для обеспечения необходимых газов (например,  $\text{CO}_2$ , водяного пара, воздуха и, возможно, других газов), которые пригодны для отверждения СКМ. Подсистема протока газа включает в себя в качестве компонентов один или несколько клапанов, регуляторов потока, массовых контроллеров потока и вентиляторов, которые подходят для обеспечения газовых потоков с желаемыми скоростями потока (например, подходящими величинами массы в единицу времени), желаемыми давлениями и желаемыми составами (например, отношениями или пропорциями диоксида углерода к воде, воздуху или, возможно, другим газам). Камера для отверждения может дополнительно включать в себя конструкции, которые регулируют скорости потока и направления потока в камере для отверждения, а также физические положения входов и выходов газа.

Подсистема контроля температуры.

В некоторых вариантах осуществления обеспечивается подсистема контроля температуры, которая позволяет обеспечение газом, имеющим желаемую температуру газа. Подсистема контроля температуры может быть применима для регулирования скоростей реакций как функции температуры, а также рабочих параметров, таких как относительная влажность, которые зависят от температуры. Подсистема контроля температуры может содержать один или несколько нагревателей, один или несколько охладителей, один или несколько датчиков, организованных так, чтобы измерять температуру газа на местах, и коммуникационный порт, организованный так, чтобы сообщаться с контроллером. В некоторых вариантах

осуществления данная коммуникация является однонаправленной, например коммуникация, при которой контроллер посылает контрольный сигнал, чтобы регулировать подсистему контроля температуры, заставляя работать по меньшей мере один из нагревателей и охладителей. В других вариантах осуществления коммуникация является однонаправленной, при которой система контроля температуры посылает сигналы, отражающие такие параметры, как температура и относительная влажность, в контроллер. В некоторых вариантах осуществления сигналы могут передаваться в обоих направлениях.

Подсистема контроля влажности.

В некоторых вариантах осуществления обеспечивается подсистема контроля влажности, которая позволяет регулировать относительную влажность рабочего газа, используемого в системе. Подсистема контроля влажности может применяться, чтобы добавлять водяной пар в рабочий газ, который подается в камеру для отверждения, если относительная влажность является слишком низкой или если потребитель желает добавлять воду в СКМ во время процесса отверждения, и она может применяться, чтобы удалять водяной пар из рабочего газа, который существует или выходит из камеры для отверждения, если относительная влажность является слишком высокой или если потребитель желает извлекать воду из СКМ во время процесса отверждения. Например, устройство для добавления водяного пара может представлять собой источник воды, клапан и распылительную головку или распылительную форсунку. В другом варианте осуществления устройство для добавления водяного пара может быть парогенератором. Парогенератор может включать в себя погружаемый нагреватель. В других вариантах осуществления водяной пар может добавляться путем барботирования газа через водяной барботер. Устройство для удаления воды может представлять собой холодильник, конденсатор или теплообменник. Подсистема контроля влажности включает в себя датчики влажности, которые могут измерять относительную влажность рабочего газа в разных местах в системах протока газа, таких как места, где рабочий газ входит или выходит из камеры для отверждения, и в других предназначенных местах камеры для отверждения или подсистемы протока газа.

Подсистема для контроля параметров способа отверждения.

В некоторых вариантах осуществления обеспечивается подсистема для контроля параметров способа отверждения (например, контроллер), чтобы регулировать рабочие параметры для отверждения СКМ, включая регулирование последовательностей этапов способа, продолжительностей и времени, и для снятия данных, измеренных во время операции отверждения. В некоторых вариантах осуществления контроллер находится в сообщении с по меньшей мере одним элементом из источника диоксида углерода, подсистемы протока газа, подсистемы контроля температуры и подсистемы контроля влажности. В некоторых вариантах осуществления контроллер находится в сообщении с датчиками, которые обеспечивают данные о способе, такие как температура, влажность, скорости потоков, давления газа, составы газа и подобные. Контроллер организован так, чтобы независимо регулировать по меньшей мере одно из скоростей потоков газообразного диоксида углерода, циркуляции газа через камеру для отверждения, температуры газа и влажности газа в течение периода времени, когда затвердевает материал, который потребляет  $\text{CO}_2$  в качестве реагента.

Обычно каждая подсистема может обеспечиваться в виде многократно используемого модуля, который может присоединяться к другим подсистемам, например, с использованием обычных имеющихся механических и электрических соединителей. В некоторых вариантах осуществления полная система контроля и операций может быть обеспечена путем установки одного или нескольких модулей подсистем каждого типа, которые могут требоваться для данной операции отверждения. Для процедур отверждения, которые предполагается выполнять повторно, полная система контроля и операций может быть обеспечена в виде одного узла. В случае когда некоторая часть полной системы контроля и операций работает неисправно, относительно быстрый ремонт может быть сделан путем замены всей подсистемы с неработающим компонентом и ремонт этого компонента может выполняться автономно, например, без значительного влияния на способ отверждения для данной операции отверждения, так что способ отверждения может выполняться только с минимальным отклонением от ожидаемой продолжительности способа. В частности, СКМ приспособляются к такой коррекции временных неисправностей, так как СКМ просто останавливает отверждение, когда концентрация  $\text{CO}_2$  достаточно снижается (например, когда  $\text{CO}_2$  отсутствует в газе отверждения). Это отличается от отверждения обычного бетона, которое инициируется присутствием воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и которое обычно нельзя прервать, когда обычная бетонная смесь становится влажной.

Обращаясь к фиг. 1, здесь показано схематичное изображение одного варианта осуществления системы для отверждения для использования с  $\text{CO}_2$  композитным материалом. На фиг. 1 есть система 102 подготовки газа и камера 120 для отверждения, которые соединяются вместе трубой 140 подачи газа и трубой 142 отвода газа. Система 102 подготовки газа включает в себя элементы каждого из источника диоксида углерода, подсистемы протока газа, подсистемы контроля температуры, подсистемы контроля влажности и подсистемы для контроля параметров способа отверждения. В варианте осуществления на фиг. 1 труба 140 подачи газа и труба 142 отвода газа могут быть трубами любого удобного размера, например металлическая труба диаметром 6 дюймов (15,24 см). Обеспечивается источник газа, такой как подача  $\text{CO}_2$  130, и по необходимости источники других газов, таких как азот и/или водяной пар. Система

подачи и подготовки газа может включать в себя контроллер 116, такой как программируемый логический контроллер (ПЛК) или другой контроллер на основе микропроцессора, такой как универсальный программируемый контроллер, который может функционировать, используя набор инструкций, записанных на машинно-читаемом носителе. Как показано на фиг. 1, типичная камера 120 для отверждения может включать в себя камеру 122, которая организована так, чтобы обеспечивать газовую атмосферу посредством одного или нескольких мест, в которых газ может впрыскиваться в камеру для отверждения, создавая газовый поток 124, имеющий желаемые свойства, такие как скорость потока или траектория потока в разных частях камеры 120 для отверждения. Камера для отверждения в некоторых вариантах осуществления будет такой простой, как оболочка, которая может содержать обрабатываемый СКМ и рабочий газ с входом и выходом, позволяющими вводить газ и удалять по необходимости. Дополнительные подробности таких систем будут представлены далее.

Фиг. 2 представляет собой схематичное изображение варианта осуществления альтернативной системы для отверждения для использования с  $\text{CO}_2$  композитным материалом. Многие компоненты, изображенные на фиг. 2, могут быть такими же, как показанные на фиг. 1, но могут быть дополнительные или другие компоненты. Например, оба варианта осуществления на фиг. 1 и 2 используют ряд термопар или других датчиков температуры (104, 104', 104'', 104''', вместе датчики температуры 1104) и множество датчиков относительной влажности (106, 106', вместе датчики относительной влажности 106), которые могут быть, например, сухими смоченными датчиками, которые используют психометрические отношения для диоксида углерода и водяного пара, или устройствами для измерения водяного пара путем дипольной поляризации, или гигрометрами с охлаждаемым зеркалом, или емкостными датчиками влажности.

Как изображено на фиг. 2, подача  $\text{CO}_2$  130 может соединяться с входом  $\text{CO}_2$  посредством разных путей контроля потока, таких как клапаны 210, 212 и 214, которые могут применяться, чтобы обеспечивать высокую скорость потока, например, во время цикла продувки и посредством клапанов 220, 222, регулятора потока 224 и клапана 226, которые могут применяться, чтобы обеспечивать более точно регулируемую скорость потока (обычно меньшую скорость потока, чем используется в цикле продувки). В варианте осуществления, показанном на фиг. 2, трубы, используемые, чтобы соединять систему 102 подготовки газа, могут быть больше, чем трубы, используемые в системе, изображенной на фиг. 1. Например, труба может быть 8 дюймовой (20,32 см) трубой. Другим отличием является размер нагревателей, используемых, чтобы нагревать газ, подаваемый в камеру для отверждения, которые на фиг. 1 показаны как шесть 1,3 кВт нагревателей (114), тогда как система нагрева на фиг. 2 включает в себя восемнадцать 1,8 кВт нагревателей (214). Как будет понятно, в любой конкретной системе точные мощности разных компонентов будут иметь размер, соответственный предназначенному количеству материала, отверждаемого в камере для отверждения 120.

Контроллер 116 может принимать данные от датчиков температуры 104 и датчиков относительной влажности 106 и может двунаправленно сообщаться (например, получать данные и посылать команды) с клапанами, холодильником (или охладителем) 110, теплообменником холодильника (или охладителя) 112, вентилятором 108, нагревателями (114, 214) и подачей  $\text{CO}_2$  130 так, чтобы иметь возможность сохранять данные как функцию времени, делать измерения, относящиеся к состоянию затвердевания загрузки в камере для отверждения 120, и выполнять исправляющие или заданные действия, чтобы контролировать способ отверждения. Контроллер 116 может также принимать команды от пользователя, показывать информацию пользователю и записывать данные и команды, которые могут происходить время от времени так, что запись способа отверждения может производиться в машинно-читываемой форме для дальнейшего применения.

Проток газа в камере для отверждения.

Газовый поток в камере для отверждения в различных вариантах осуществления может включать в себя газовые потоки, внешние к объекту, газовые потоки, внутренние к объекту, газовые потоки сквозь пористый или проницаемый объект или комбинации таких газовых потоков. Система подачи газа включает в себя трубу 140 подачи газа, трубу 142 отвода газа и камеру 122, которая может иметь многочисленные формы. В некоторых вариантах осуществления камера 122 направляет газы снаружи исходных объектов из  $\text{CO}_2$  композитного материала. В других вариантах осуществления камера 122 направляет газы во внутренние протоки или отверстия в исходных объектах из  $\text{CO}_2$  композитного материала. В других вариантах осуществления камера 122 направляет газы и снаружи, и во внутренние протоки или отверстия в исходных объектах из  $\text{CO}_2$  композитного материала.

Внутренняя система подачи газа.

Этот тип системы подачи газа образован из связанных пересекающихся труб, имеющих конкретное расстояние между ними и размер, которые доставляют газ или текучую среду через ряд отверстий, распределенных по системе труб, к окружающему объекту из  $\text{CO}_2$  композитного материала. Подача газа (включая диоксид углерода) затем регулируется так, чтобы соответствовать или близко соответствовать скорости потребления  $\text{CO}_2$  в  $\text{CO}_2$  композитном материале. Это один способ вызывать быстрое отверждение секции  $\text{CO}_2$  композитного материала. В типичной внутренней системе подачи газа система труб остается встроенной в образец  $\text{CO}_2$  композитного материала, после того как он затвердевает. Система труб

может дополнительно действовать как средство армирования и может обеспечивать способность выполнять очистку или обслуживание  $\text{CO}_2$  композитного материала с помощью технологии обратной промывки сжатым воздухом или водой.

Некоторые преимущества этого подхода включают в себя снижение времени отверждения, снижение захвата углерода, связанного с применением бетонирования на месте  $\text{CO}_2$  композитного материала, улучшенный срок службы секций из проникаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала благодаря способности вымывания осколков проникаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала и присутствия армирующей решетки, но не ограничиваются этим. Стандартная практика размещения проникаемого бетона с системами на основе портландцемента требует период отверждения 7-28 дней до того, как область может быть использована. С данной системой подачи газа конечная прочность  $\text{CO}_2$  композитного материала может достигаться уже за 1 день. В приведенных ниже тестах подачу  $\text{CO}_2$  регулировали при 1,7 кг/ч. Результатом после 22 ч была степень карбонизации 40% относительно потенциального превращения  $\text{CO}_2$  композитного материала в карбонат. Это соответствует 43% эффективности по  $\text{CO}_2$ . На основании этих данных авторы могут регулировать скорость подачи газа так, чтобы соответствовать скорости расходования  $\text{CO}_2$  композитного материала, улучшая тем самым эффективность использования  $\text{CO}_2$  и оптимизируя время, требуемое для обеспечения способа отверждения.

Теперь описывается один вариант осуществления внутренней системы подачи газа для отверждения вытянутых деталей, таких как рельсовые шпалы.

Представляет собой вид в перспективе камеры для отверждения, пригодной для отверждения вытянутых деталей из  $\text{CO}_2$  композитного материала. Камера для отверждения на фиг. 3 имеет гибкую стенку 310, которая поддерживается каркасными элементами 320. Закрытие гибкой стенки 310 может выполняться путем применения грузов или путем использования магнитных ленточных и магнитных каркасных элементов. Другие системы с гибкой стенкой описываются более подробно ниже.

Фиг. 4 представляет собой вид камеры для отверждения с фиг. 3, содержащей вытянутую деталь 410 (рельсовую шпалу) из отверждаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала.

Фиг. 5 представляет собой вид камеры для отверждения с фиг. 3, когда она закрыта, чтобы позволять выполнять отверждение. Гибкая стенка 310 полностью развернута на этом изображении.

При использовании системы, показанной на фиг. 3-5, рабочий газ подается в по меньшей мере одно внутреннее отверстие, которое пересекает длину отверждаемого СКМ. Затвердевание может затем происходить изнутри исходного объекта наружу. Были получены данные для таких способов отверждения.

Фиг. 6 представляет собой изображение камеры, используемой, чтобы подавать атмосферу для отверждения к образцу из  $\text{CO}_2$  композитного материала, имеющему внутренний круглый канал. Как можно видеть на фиг. 6, камера 610 представляет собой трубу, имеющую круглое сечение, которая может быть расположена в проточном сообщении с круглым каналом в образце из отверждаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала.

Фиг. 7 представляет собой изображение образца 700 из  $\text{CO}_2$  композитного материала, который был отвержден с использованием потока во внутреннем круглом канале 710 и газового потока снаружи образца. Как показано на фиг. 7, образец 700 имеет круглую область 720, которая затвердела, прямоугольную периферическую область 730, которая затвердела, и незатвердевшую область 740 между затвердевшими областями 720 и 730. Это демонстрирует возможность отверждения СКМ изнутри с использованием внутреннего потока рабочего газа и снаружи с использованием газового потока, внешнего к образцу.

Фиг. 8 представляет собой изображение, которое иллюстрирует различие в глубине реакции как функции скорости потока. На фиг. 8 видно, что для изученной геометрии более высокая скорость потока привела к большей глубине отверждения за такой же интервал времени.

Фиг. 9 представляет собой график, который иллюстрирует различия в глубине реакции, потоке газа в кубических футах в минуту и количестве воды, удаляемой из деталей из  $\text{CO}_2$  композитного материала, отверждаемых в системах, использующих 1 вентилятор и 3 вентилятора. Ясно, что глубина реакции, поток газа в кубических футах в минуту и количество воды, удаляемой из деталей из  $\text{CO}_2$  композитного материала, увеличиваются, когда обеспечивается больше мощности для движения реакционного газа.

Фиг. 10 представляет собой график, показывающий данные по скорости удаления воды как функции скорости потока для газов, имеющих разную относительную влажность. Как видно на фиг. 10, использование более высокой скорости потока и меньшей относительной влажности имеет тенденцию увеличивать скорость, с которой вода удаляется из образца. Считается, что реакция СКМ с  $\text{CO}_2$  предпочтительно происходит на границе раздела, где насыщенный водой СКМ находится в контакте с газообразным  $\text{CO}_2$ , поэтому более быстрое удаление воды коррелирует с большими скоростями отверждения.

Пример. Отверждение проникаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала на месте.

Способ отверждения проникаемого  $\text{CO}_2$  композитного материала на месте показан на фиг. 11-16. Это установка, которая сделана на земле с одной стороны здания. Это пример правильного применения наружного бетонирования.

Фиг. 11 представляет собой блок-схему способа, изображающую этапы способа размещения и отверждения композитного материала в наружном положении. Способ можно разделить на этапы. На этапе 1110 готовят область, где нужно установить и отвердить  $\text{CO}_2$  композитный материал. На этапе 1120

наливают или иным образом размещают первый слой проницаемого CO<sub>2</sub> композитного материала. Мероприятия при размещении CO<sub>2</sub> композитного материала включают в себя формирование отверждаемого объекта с использованием одного из литья, заливания, вибрационного размещения, прессования и подобного в зависимости от состава CO<sub>2</sub> композитного материала и обрабатываемости смеси.

На этапе 1130 размещают или устанавливают конструкцию подачи газа, которая в некоторых вариантах осуществления может быть трубкой или трубой с отверстиями, заданными в ее стенке. Фиг. 12 представляет собой изображение, которое показывает дырчатую ПВХ решетку 1210, используемую для подачи газа в секцию бетонирования на месте проницаемого CO<sub>2</sub> композитного материала. Также показан первый слой 1220 отверждаемого материала и точка 1230 присоединения газа.

На этапе 1140 наливают или размещают второй (конечный) слой проницаемого CO<sub>2</sub> композитного материала поверх конструкции подачи газа. Фиг. 13 представляет собой изображение, которое показывает проницаемый CO<sub>2</sub> композитный материал 1310, налитый поверх системы подачи газа 1210 с фиг. 12. Однако следует понимать, что размещение конструкции подачи газа и отверждаемого материала в желаемом месте можно выполнять в любом порядке, включая установку сначала конструкции подачи газа, а затем размещение отверждаемого материала или размещение сначала отверждаемого материала, а затем установку конструкции подачи газа.

На этапе 1150 покрывают размещенный материал, например, брезентом ("брезент") и подключают газовую линию. Фиг. 14 представляет собой изображение, которое показывает секцию проницаемого CO<sub>2</sub> композитного материала, которая покрыта пластиковым покрытием 1410 и которая имеет вход CO<sub>2</sub> 1420, соединенный с точкой присоединения газа 1230.

Перед отверждением размещенной смеси может быть необходимо высушить ее или удалить избыток воды из незатвердевшего CO<sub>2</sub> композитного материала, используя один или несколько методов из воздушной сушки, дренажа или циркуляции газа, чтобы довести материал до надлежащего состояния, чтобы начать процесс отверждения. В некоторых вариантах осуществления может быть необходимо добавлять воду к сухой смеси незатвердевшего CO<sub>2</sub> композитного материала.

На этапе 1160 подают газ, чтобы отверждать CO<sub>2</sub> композитный материал. Фиг. 15 представляет собой изображение, которое показывает регуляторы потока газа и измеритель потока, применяемые, чтобы регулировать подачу CO<sub>2</sub> в секцию проницаемого CO<sub>2</sub> композитного материала с фиг. 14. На фиг. 15 виден регулятор высокого давления 1510, регулятор низкого давления 1520, труба подачи газа 1530, массовый измеритель потока CO<sub>2</sub> 1540 и индикатор массового измерителя потока CO<sub>2</sub> 1550.

Фиг. 16 представляет собой изображение, которое показывает затвердевшую секцию проницаемого CO<sub>2</sub> композитного материала после 22 часов применения вставленной системы подачи CO<sub>2</sub> с фиг. 12.

В некоторых вариантах осуществления могут быть расположены датчики в объеме отверждаемого CO<sub>2</sub> композитного материала, так что могут контролироваться рабочие параметры во время процесса отверждения. Такие датчики обычно являются расходными или "одноразовыми датчиками", так как их обычно не удаляют и не извлекают после отверждения CO<sub>2</sub> композитного материала, а скорее они постоянно закрепляются в CO<sub>2</sub> композитном материале.

Пример. Система отверждения для литья на месте.

Система отверждения для литья на месте включает в себя системы и способы для карбонизации CO<sub>2</sub> композитного материала в отсутствие какого-либо герметичного резервуара. Эта технология отверждения "литья на месте" включает в себя использование газопроницаемого барьера, используемого в качестве слоя, позволяющего CO<sub>2</sub> диффундировать через секцию CO<sub>2</sub> композитного материала. Это процедура для быстрой генерации прочности и постоянного расходования газообразного диоксида углерода, приводящая к снижению расхода углерода, связанного с применениями литья на месте. Этот способ является менее интенсивным по энергии, чем все предыдущие технологии отверждения с карбонизацией, так как не требуется резервуар с контролем температуры или герметичный резервуар. Впервые было показано, что достаточный уровень прочности (+2000 фунт/кв. дюйм) (13 МПа) может достигаться при использовании описанных технологий литья на месте для плотного CO<sub>2</sub> композитного материала.

CO<sub>2</sub> композитный материал карбонизовали с помощью способа отверждения карбонизацией "снизу вверх". Этот тест включал в себя успешную карбонизацию без использования герметичного резервуара для получения плиты из CO<sub>2</sub> композитного материала, имеющей прочность на сжатие свыше 2000 фунт/кв. дюйм.

Авторы использовали материал Enkavent®, чтобы создавать газопроницаемый слой для обеспечения большей поверхности подачи CO<sub>2</sub>, чтобы позволять карбонизацию в системе литья на месте.

Фиг. 17 представляет собой блок-схему, изображающую этапы размещения и отверждения CO<sub>2</sub> композитного материала при использовании данного способа литья на месте. На этапе 1710 готовят слой Enkavent® с проницаемым покрытием путем размещения данного материала в месте, где необходимо отлить и отверждать CO<sub>2</sub> композитный материал. На этапе 1720 наливают (или размещают иным образом) CO<sub>2</sub> композитный материал для литья на месте. На этапе 1730 присоединяют газовую линию системы для отверждения в проточном сообщении со слоем Enkavent®. На этапе 1740 начинают проток газа в слой Enkavent®. На этапе 1750 подают газообразный CO<sub>2</sub> в CO<sub>2</sub> композитный материал в течение периода времени, достаточно длительного, чтобы вызывать желаемое отверждение.



Фиг. 18 представляет собой изображение, показывающее форму 1800, которая позволяет подачу  $\text{CO}_2$  в материал Enkavent® и через него, в которой рамка 1810 приспособлена содержать  $\text{CO}_2$  композитный материал в желаемом размере и форме. Как видно на фиг. 18, форма 1800 имеет линию подачи газа 1840, которая вводит рабочий газ ниже пористой решетки 1830, которая поддерживает слой материала Enkavent® 1820. Материал Enkavent® коммерчески доступен от Enka Geomatrix Systems, подразделения BASF Corporation of Enka, N.C. и его правопреемника Colbond, Inc. Материал Enkavent® более подробно описан в патенте США № 4212692, патенте США № 5960596 и патенте США № 6487826.  $\text{CO}_2$  композитный материал находится возле материала Enkavent®.

Фиг. 19 представляет собой изображение, показывающее незатвердевшую смесь  $\text{CO}_2$  композитного материала для использования в способе литья на месте.

Фиг. 20 представляет собой изображение, показывающее форму 1800 после заливки  $\text{CO}_2$  композитного материала и подсоединения линии рабочего газа для отверждения  $\text{CO}_2$  композитного материала с помощью  $\text{CO}_2$ .

Фиг. 21 представляет собой изображение, показывающее секцию 2110, отрезанную от плиты из  $\text{CO}_2$  композитного материала после отверждения карбонизацией.

Камера для отверждения с гибкой стенкой.

Другой тип камеры для отверждения, который может применяться для отверждения деталей из  $\text{CO}_2$  композитного материала, показан на фиг. 22-24. Это камера, сделанная из гибкого материала, такого как листовой пластиковый материал, образующий камеру, имеющую гибкие стенки. В предпочтительном варианте осуществления гибкий материал может быть покрыт отражающим слоем, таким как алюминий, чтобы отражать инфракрасное излучение. Подобный материал обычно применяют в покрывалах или пончо, используемых в операциях по спасению людей, или дают бегунам-марафонцам в конце состязания, чтобы можно было легче удерживать тепло человеческого тела. В описанных ниже вариантах осуществления стенка обеспечивается, чтобы содержать газ, используемый в отверждении деталей из  $\text{CO}_2$  композитного материала, размещенных в камере, так, что можно регулировать свойства газа, такие как состав, температура, относительная влажность и скорость потока. В некоторых вариантах осуществления внутри камеры могут быть расположены датчики, чтобы обеспечивать данные о свойствах газа и условиях внутри камеры во время операции отверждения.

Фиг. 22 представляет собой изображение камеры для отверждения 2200, сделанной из гибкого материала 2210, который прикреплен к жесткому основанию 2220 с помощью фиксирующей системы. В одном варианте осуществления гибкий материал является металлизированным пластиковым листом. Другими материалами, которые могут быть использованы в качестве гибкого материала, являются Mylar® и латекс.

Фиг. 23 представляет собой изображение гибкого материала, устанавливаемого так, чтобы формировать камеру для отверждения с фиг. 22.

Фиг. 24 представляет собой изображение способа крепления для удерживания гибкого материала камеры для отверждения с фиг. 22 к жесткой опоре. Как изображено на фиг. 24, жесткое основание 2410 и гибкий лист 2420 соединяются путем использования жестких стержней 2430 и зажимов 2440. В данном варианте осуществления показанные жесткие стержни 2430 имеют квадратные или прямоугольные сечения. В некоторых вариантах осуществления деформируемая прокладка 2450 может быть расположена между сопряженными поверхностями жесткого основания 2410 и гибкого листа 2420, чтобы обеспечить более герметичное уплотнение. Прокладка 2450 может быть любым материалом, который химически совместим с газом для отверждения и который является достаточно мягким, так что он образует по существу герметичное уплотнение, когда сжимается между сопряженными поверхностями жесткого основания 2410 и гибкого листа 2420. Примерами таких материалов, которые могут быть использованы в качестве прокладок, являются пенопластовые листы с закрытыми ячейками и вязкие жидкости, такие как гели на основе нефтепродуктов. В других вариантах осуществления канал, заполненный жидкостью, которая совместима с атмосферой отверждения, такой как вода, может обеспечиваться в месте, в котором находятся сопряженные поверхности жесткого основания 2410 и гибкого листа 2420.

Фиг. 25 представляет собой изображение другого варианта осуществления камеры для отверждения 2500, имеющей некоторые гибкие стенки 2510 и некоторые относительно жесткие стенки 2520. В варианте осуществления, показанном на фиг. 25, отверстие 2530 может быть покрыто материалом, который является прозрачным в интересующей спектральной области, такой как видимая или инфракрасная область, так что можно делать визуальные наблюдения или инструментальные наблюдения электромагнитного излучения, такие как оптическая пирометрия, или измерения потока газа или состава газа. 2540 Является трубой, используемой для присоединения к системе 102 подготовки газа, описанной ранее (например, 2540 используется как присоединение к одному или нескольким элементам из трубы подачи газа 140 и трубы отвода газа 142).

Модульная система обращения с газом.

Фиг. 26 представляет собой изображение модульной системы обращения с газом, которая может быть использована с разными камерами для отверждения.

Фиг. 27 представляет собой схематичное изображение, показывающее систему 2710 обращения с газом, которая имеет много портов подачи газа 2730, 2730', 2730" и множество портов отвода газа 2740, 2740', 2740", с помощью которых она находится в проточном сообщении с камерой для отверждения 2720. Модульную систему обращения с газом на фиг. 27 можно рассматривать как множество модульных систем обращения с газом с фиг. 26, которые работают параллельно под управлением контроллера. Система обращения с газом на фиг. 27 может быть использована, чтобы обеспечивать газовые потоки, имеющие индивидуально регулируемые скорости потоков, составы газа и температуры газа, так что могут обеспечиваться и регулироваться газовые потоки, которые приспособлены к конкретным областям одной камеры для отверждения. По необходимости могут обеспечиваться многочисленные наборы датчиков, чтобы каждый газовый поток можно было индивидуально контролировать и регулировать.

Компьютерная контрольная система.

Чтобы регулировать работу системы для отверждения более удобным образом, обеспечивается по меньшей мере один контроллер в сообщении с по меньшей мере одним элементом из источника диоксида углерода, подсистемы протока газа, подсистемы контроля температуры и подсистемы контроля влажности. Данный по меньшей мере один контроллер организован так, чтобы независимо регулировать в течение периода времени, когда затвердевает материал, который потребляет  $\text{CO}_2$  в качестве реагента по меньшей мере один параметр из состава газа, обеспечиваемого для способа отверждения, скорости потока диоксида углерода, скорости циркуляции газа через камеру для отверждения или через отверждаемый СКМ, направления циркуляции газа через камеру для отверждения, температуры газа и влажности газа.

В предпочтительном варианте осуществления данный контроллер представляет собой обычный компьютер, который работает под управлением набора инструкций, записанных на машинно-читаемом носителе, или аналогичное электронное устройство, как более подробно описано далее. В некоторых вариантах осуществления оператор может контролировать некоторые (или все) операции в способе отверждения путем коррекции контроллера или путем обеспечения конкретных инструкций к контроллеру, которые выполняются, как направляет оператор. Например, некоторые этапы способа отверждения, связанные с установкой камеры для отверждения, загрузкой отверждаемого СКМ материала, выгрузкой затвердевшего материала в конце цикла отверждения и подобные, могут более удобно выполняться под контролем человека-оператора. Во многих случаях оператор может принимать во внимание изменения самих СКМ материалов и как с ними легче механически обращаться, чем может сделать запрограммированный контроллер. После завершения предварительных этапов оператор может передавать контроль способа контроллеру, который может контролировать способ в течение продолжительного времени отверждения. Другим преимуществом использования контроллера является то, что контроллер может записывать и воспроизводить запись рабочих параметров, которые установлены как целевые, и может записывать соответствующие реальные параметры, которые измеряются во время способа отверждения, так что точность способа отверждения может быть увеличена со временем путем перепрограммирования инструкций, которые контролируют конкретный способ, заставляя реальные измеренные рабочие параметры лучше соответствовать ожидаемым значениям. Хорошо известным примером такого улучшения в контроле является применение пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулирования, когда кто-то пытается установить изменение параметра, которое в итоге достигает стационарного состояния после интервала времени, пытаюсь минимизировать недостатки (слишком низкая величина) и перелеты (слишком высокая величина), когда достигается желаемая стационарная величина.

Фиг. 28 представляет собой скриншот компьютерной контрольной системы для камеры для отверждения, показывающий схему контролируемой системы. На фиг. 28 показана схема камеры для отверждения 2810, компоненты системы подготовки газа 2820, множество окон данных 2830 для индикации параметров способа, таких как составы газа, температура, давление, относительная влажность, скорость вентилятора или скорости потоков в реальном времени (например, в по существу текущем времени протекания способа), схема источника  $\text{CO}_2$  2840 и соответствующих клапанов и схема источника воды/водяного пара 2850.

Фиг. 29 представляет собой скриншот компьютерной контрольной системы для камеры для отверждения, показывающий ряд компонентов, которые можно регулировать, и показывающий, как могут изображаться величины измеряемых параметров. Изображенный скриншот представляет собой диагностическую панель, на которой показаны состояния 2910 различных компонентов, таких как вентиляторы, нагреватели, клапаны и подобные, желаемые или запрограммированные величины 2920 различных рабочих параметров, такие как температура, относительная влажность, процент  $\text{CO}_2$  и подобные. Текущие измеренные величины 2930 обеспечены различными датчиками, и дано изображение 2940 контролируемого этапа (здесь "продувка") и некоторые регулируемые параметры. Отображаемая диагностическая информация может различаться для разных этапов способа.

Фиг. 30 представляет собой скриншот компьютерной контрольной системы для камеры для отверждения, показывающий экран ввода, на котором параметры для разных периодов или шагов способа отверждения могут вводиться пользователем и отображаться для пользователя. Как можно видеть, экран ввода может быть использован, чтобы вводить индивидуальные этапы 3010 с их желательными рабочими параметрами. Обеспечивается ряд "кнопок" 3020, позволяющих пользователю удобно выбирать раз-

ные пути операции отверждения, такие как регулирование составов газа (например, кнопка обозначена "контроль CO<sub>2</sub>"), условий относительной влажности (например, кнопка обозначена "контроль RH"), работа самого контроллера (например, кнопка обозначена "контроль PID") и многие другие параметры. Также обеспечиваются кнопки для сохранения ввода на машинно-читаемый носитель или память или повторного вызова сохраненного ввода из памяти. В некоторых вариантах осуществления сам экран является сенсорным экраном. В некоторых вариантах осуществления может применяться указывающее устройство, такое как мышь. В некоторых вариантах осуществления клавиатура, цифровая клавиатура и/или "экранная" клавиатура могут использоваться при вводе данных или команд.

Фиг. 31 представляет собой скриншот-изображение доклада об истории операции отверждения, показывающее график 3100, на котором кривая 3110 представляет весь поглощенный CO<sub>2</sub>, кривая 3120 представляет относительную влажность, а кривая 3130 представляет температуру.

#### Определения

Если здесь точно не указано иное, любую ссылку на электронный сигнал или электромагнитный сигнал (или их эквиваленты) следует понимать, как ссылку на энергонезависимый электронный сигнал или энергонезависимый электромагнитный сигнал.

Запись результатов операции или захват данных, например запись результатов при конкретной частоте или длине волны, следует понимать и определять здесь как запись выходных данных постоянным образом на сохраняющий элемент, на машинно-читаемый сохраняющий носитель или сохраняющее устройство. Постоянные машинно-читаемые сохраняющие носители, которые могут использоваться в данном изобретении, включают в себя

электронные, магнитные и/или оптические сохраняющие носители, такие как магнитные флоппи-диски и жесткие диски;

DVD привод, CD привод, который в некоторых вариантах осуществления может использовать DVD диски, любые из CD-ROM дисков (т.е. оптические сохраняющие диски только для чтения), CD-R диски (т.е. оптические сохраняющие диски с однократной записью и многократным чтением) и CD-RW диски (т.е. перезаписываемые оптические сохраняющие диски);

электронные сохраняющие устройства, такие как RAM, ROM, EPROM, компактные флеш-карты, PCMCIA карты или альтернативно SD или SDIO память; и

электронные компоненты (например, привод флоппи-дисков, DVD привод, CD/CD-R/CD-RW привод или компактный флеш/PCMCIA/SD адаптер), которые размещают и считывают из сохраняющего носителя или записывают на него. Если точно не указано иное, любую ссылку здесь на "запись" или "записывание" следует понимать как указание на постоянную запись или постоянное записывание.

Как известно специалистам, в области машинно-считываемых сохраняющих носителей постоянно разрабатываются новые носители и форматы сохранения данных и любой удобный коммерчески доступный сохраняющий носитель и соответствующее устройство чтения/записи, которое может быть доступно в будущем, вероятно подходит для использования, особенно если оно обеспечивает что-либо из большей емкости хранения, большей скорости доступа, меньшего размера и меньшей стоимости на бит сохраненной информации. Хорошо известные, более старые машинно-читаемые носители также доступны для использования в определенных условиях, такие как бумажная перфолента или перфокарты, магнитная запись на ленте или проволоке, оптическое или магнитное считывание печатных знаков (например, OCR или магнитно-кодированные символы) и машинно-считываемых символов, таких как одномерные или двумерные штрих-коды. Запись изображений для дальнейшего использования (например, запись изображения в память или цифровую память) может выполняться, чтобы позволять использовать записанную информацию в виде выхода, в виде данных для отображения пользователю, или в виде данных, доступных для дальнейшего применения. Такие элементы цифровой памяти или микросхемы могут быть автономными устройствами памяти или могут быть внедрены в интересующее устройство. "Запись выходных данных" или "запись изображения в память" определяются здесь как включение записи трансформированных данных в регистры внутри микрокомпьютера.

"Микрокомпьютер" определяется здесь как синоним микропроцессору, микроконтроллеру и процессору цифровых сигналов (DSP). Понятно, что память, используемая микрокомпьютером, включая, например, инструкции для обработки данных, кодированные как "встроенные", может находиться в памяти физически внутри микрокомпьютерной микросхемы или в памяти, внешней к микрокомпьютеру, или в комбинации внутренней и внешней памяти. Аналогично аналоговые сигналы могут оцифровываться автономным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) или один или несколько АЦП или мультиплексных АЦП каналов могут находиться внутри корпуса микрокомпьютера. Также понятно, что микросхемы с программируемой клапанной матрицей (FPGA) или прикладные специфические микросхемы (ASIC) могут выполнять функции микрокомпьютера либо в аппаратной логике, программной эмуляции микрокомпьютера, либо путем комбинации обоих. Устройство, имеющее любой из описанных здесь признаков изобретения, может работать полностью в одном микрокомпьютере или может включать в себя несколько микрокомпьютеров.

Универсальные программируемые компьютеры, применимые для контроля оборудования, записи сигналов и анализа сигналов или данных согласно настоящему описанию могут представлять собой лю-

бой персональный компьютер (ПС), компьютер на базе микропроцессора, портативный компьютер или процессорное устройство другого типа. Универсальный программируемый компьютер обычно содержит центральный процессорный блок, блок хранения или памяти, который может записывать и считывать информацию и программы, используя машинно-читаемый сохраняющий носитель, коммуникационный терминал, такой как проводное коммуникационное устройство или беспроводное коммуникационное устройство, устройство вывода, такое как дисплейный терминал, и устройство ввода, такое как клавиатура. Дисплейный терминал может представлять собой дисплей с сенсорным экраном, и в этом случае он может функционировать и как дисплейное устройство, и как устройство ввода. Может присутствовать другое и/или дополнительное устройство ввода, такое как мышь или джойстик, и может присутствовать другое и/или дополнительное устройство вывода, такое как громкоговоритель, например динамик, второй дисплей или принтер. Компьютер может нести любую из множества операционных систем, например любую из нескольких версий Windows или MacOS, или UNIX, или Linux. Результаты вычислений, полученные при работе универсального компьютера, могут сохраняться для дальнейшего применения и/или могут отображаться пользователю. По меньшей мере каждый универсальный компьютер на базе микропроцессора имеет регистры, которые сохраняют результаты каждого этапа вычислений в микропроцессоре, и эти результаты затем обычно сохраняются в кэш-памяти для дальнейшего применения, так что результат может отображаться, записываться на долговременную память или использоваться в дальнейшей обработке данных или анализе.

### Теоретическое обсуждение

Хотя данное здесь теоретическое описание считается правильным, работа устройств, описанных и заявленных здесь, не зависит от точности или обоснованности теоретического описания. Т.е. дальнейшее теоретическое развитие, которое сможет объяснить наблюдаемые результаты на основе, отличной от представленной здесь теории, не будет умалять описанные здесь изобретения.

Хотя настоящее изобретение было показано и описано со ссылкой на предпочтительный вариант осуществления, изображенный на чертежах, специалисту в данной области техники будет понятно, что различные изменения в деталях могут быть сделаны здесь без отклонения от сущности и объема изобретения, заданных формулой изобретения.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Контроллер для регулирования процесса отверждения материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода, содержащий

микропроцессор, выполненный с возможностью работы под управлением набора инструкций, записанных на первом машинно-читаемом носителе, причем микропроцессор, когда работает под управлением упомянутого набора инструкций, выполняет следующие этапы

управляет работой по меньшей мере одного из источника диоксида углерода, подсистемы протока газа, подсистемы контроля температуры и подсистемы контроля влажности;

устанавливает поток рабочего газа, содержащего диоксид углерода, так, чтобы осуществлять контакт материала, подлежащего отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода в рабочем газе;

контролирует по меньшей мере один параметр, выбранный из группы параметров, состоящей из времени, прошедшего от установления упомянутого потока, концентрации диоксида углерода, относительной влажности, скорости потока, температуры и давления упомянутого рабочего газа, когда обеспечивается рабочий газ, в одном или более положениях внутри камеры для отверждения;

выполняет по меньшей мере одно из записи по меньшей мере одного из упомянутых контролируемых параметров, переноса упомянутого по меньшей мере одного из упомянутых контролируемых параметров в систему обработки данных или отображения упомянутого по меньшей мере одного из упомянутых контролируемых параметров пользователю; и

определяет состояния затвердевания упомянутого материала, подлежащего отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода.

2. Контроллер по п.1, в котором упомянутый микропроцессор, когда работает под управлением упомянутого набора инструкций, выполняет этап получения стартовой команды из внешнего источника.

3. Контроллер по п.1, в котором упомянутый микропроцессор, когда работает под управлением упомянутого набора инструкций, выполняет этап контроля по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы параметров, состоящей из концентрации диоксида углерода, относительной влажности, скорости потока, температуры, давления и продолжительности течения упомянутого рабочего газа, когда упомянутый рабочий газ удаляется из состояния контакта с упомянутым материалом, подлежащим отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода.

4. Контроллер по п.1, в котором упомянутая подсистема протока газа, содержит по меньшей мере одно из клапана, регулятора потока, массового контроллера потока, вентилятора и конструкции для подачи газа,

причем упомянутая подсистема протока газа выполнена с возможностью обеспечения рабочего га-

за, содержащего диоксид углерода в качестве реагента, в проточном контакте с материалом, подлежащим отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода.

5. Контроллер по п.1, в котором упомянутая подсистема протока газа совместима с водяным паром в добавление к упомянутому рабочему газу, содержащему диоксид углерода в качестве реагента.

6. Контроллер по п.1, в котором упомянутая конструкция для подачи газа представляет собой газо-проницаемый слой, расположенный возле материала, подлежащего отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода.

7. Контроллер по п.1, в котором упомянутая подсистема контроля температуры содержит по меньшей мере один элемент, выбранный из нагревателя и охладителя, причем упомянутая подсистема контроля температуры выполнена с возможностью регулирования температуры рабочего газа, содержащего диоксид углерода, так, чтобы заставлять упомянутый рабочий газ достигать желаемой температуры до вступления в контакт с материалом, подлежащим отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода в упомянутом рабочем газе.

8. Контроллер по п.1, в котором упомянутая подсистема контроля влажности содержит по меньшей мере один элемент, выбранный из источника водяного пара и устройства удаления водяного пара, причем упомянутая подсистема контроля влажности выполнена с возможностью регулирования влажности рабочего газа, содержащего диоксид углерода, так, чтобы заставлять упомянутый рабочий газ достигать желаемой влажности до вступления в контакт с материалом, подлежащим отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода в упомянутом рабочем газе.

9. Система для отверждения материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода, содержащая

систему подготовки газа и камеру для отверждения, соединенные вместе с помощью трубы для подачи газа и трубы для отвода газа, причем упомянутая камера для отверждения выполнена с возможностью содержания упомянутого материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода,

причем система подготовки газа включает в себя источник диоксида углерода, подсистему протока газа, подсистему контроля температуры, подсистему контроля влажности и подсистему для контроля параметров процесса отверждения,

причем подсистема для контроля параметров процесса отверждения содержит контроллер, содержащий микропроцессор, выполненный с возможностью работы под управлением набора инструкций, записанных на первом машинно-читаемом носителе, так, чтобы регулировать процесс отверждения упомянутого материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода, и определять состояния затвердевания упомянутого материала, подлежащего отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода.

10. Система для отверждения материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода, по п.9, в которой

упомянутая подсистема протока газа содержит по меньшей мере один элемент из клапана, регулятора потока, массового контроллера потока, вентилятора и конструкции для подачи газа; и

упомянутая подсистема протока газа выполнена так, чтобы обеспечивать рабочий газ, содержащий диоксид углерода в качестве реагента, в проточном контакте с материалом, подлежащим отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода.

11. Система для отверждения материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода, по п.9, в которой упомянутая подсистема контроля температуры содержит по меньшей мере один элемент, выбранный из нагревателя и охладителя, причем упомянутая подсистема контроля температуры выполнена так, чтобы регулировать температуру рабочего газа, содержащего диоксид углерода, так, чтобы заставлять упомянутый рабочий газ достигать желаемой температуры до вступления в контакт с материалом, подлежащим отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода в упомянутом рабочем газе.

12. Система для отверждения материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода, по п.9, в которой упомянутая подсистема контроля влажности содержит по меньшей мере один элемент, выбранный из источника водяного пара и устройства удаления водяного пара, причем упомянутая подсистема контроля влажности выполнена так, чтобы регулировать влажность рабочего газа, содержащего диоксид углерода, так, чтобы заставлять упомянутый рабочий газ достигать желаемой влажности до вступления в контакт с материалом, подлежащим отверждению путем реакции с упомянутым диоксидом углерода в упомянутом рабочем газе.

13. Система для отверждения по п.9, в которой камера для отверждения содержит

оболочку, образующую закрытый объем, причем упомянутая оболочка содержит стенку, организованную так, чтобы содержать материал, подлежащий отверждению путем реакции с диоксидом углерода в рабочем газе, и упомянутая оболочка содержит закрываемое отверстие, организованное так, чтобы позволять вводить упомянутый материал, подлежащий отверждению в упомянутую оболочку;

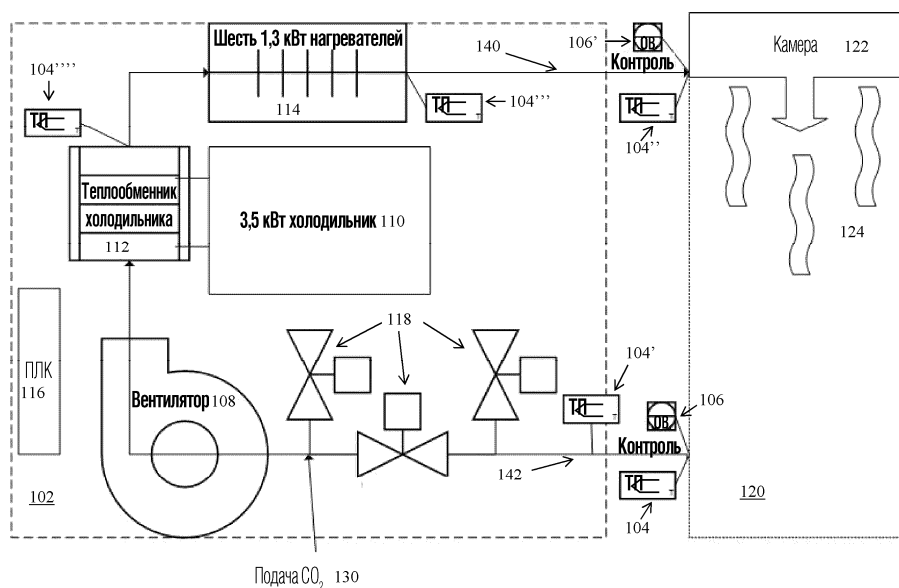
входной порт, организованный так, чтобы позволять упомянутому рабочему газу, содержащему диоксид углерода, входить в упомянутую оболочку; и

выходной порт, организованный так, чтобы позволять упомянутому рабочему газу выходить из упомянутой оболочки.

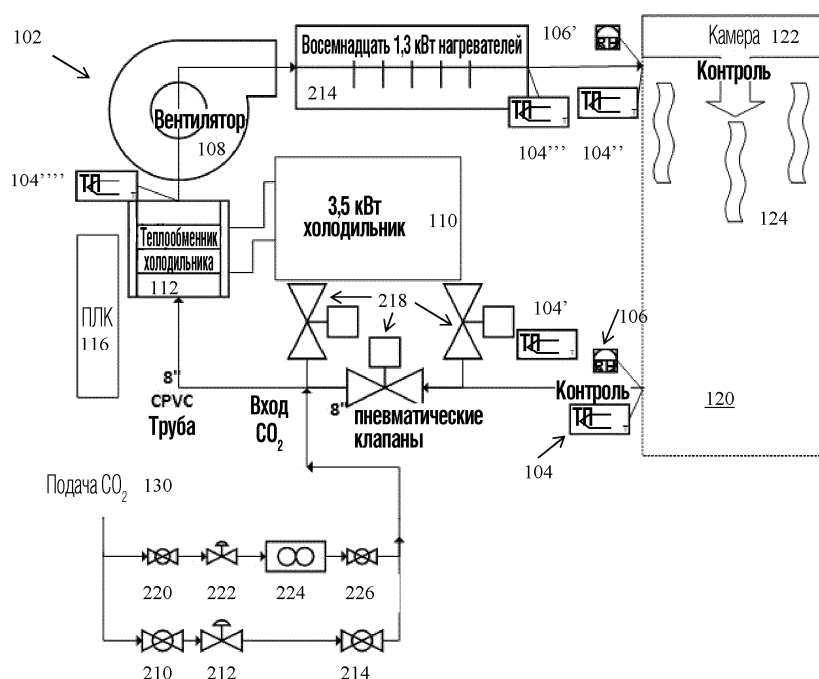
14. Система для отверждения по п.13, дополнительно содержащая камеру, находящуюся внутри упомянутой оболочки, причем упомянутая камера выполнена так, чтобы обеспечивать упомянутый рабочий газ одним или более местами, в которых упомянутый рабочий газ может впрыскиваться в упомянутую оболочку.

15. Контроллер по п.1, в котором упомянутый микропроцессор, когда работает под управлением упомянутого набора инструкций, выполняет исправляющие или заданные действия, чтобы контролировать процесс отверждения на основании определения состояния затвердения материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода.

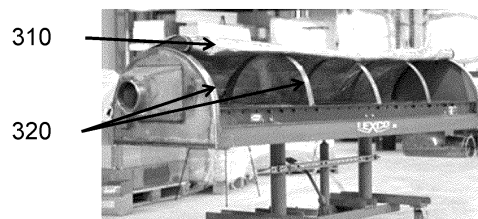
16. Контроллер по п.9, в котором упомянутый микропроцессор, когда работает под управлением упомянутого набора инструкций, выполняет исправляющие или заданные действия, чтобы контролировать процесс отверждения на основании определения состояния затвердения материала, подлежащего отверждению путем реакции с диоксидом углерода.



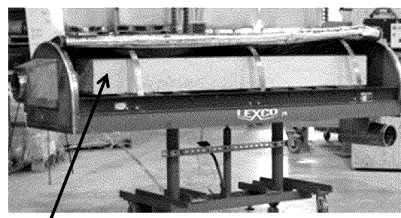
Фиг. 1



Фиг. 2

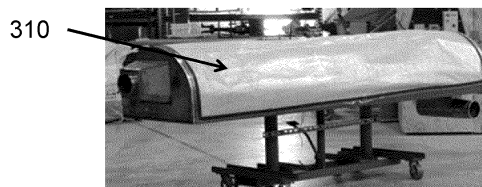


Фиг. 3

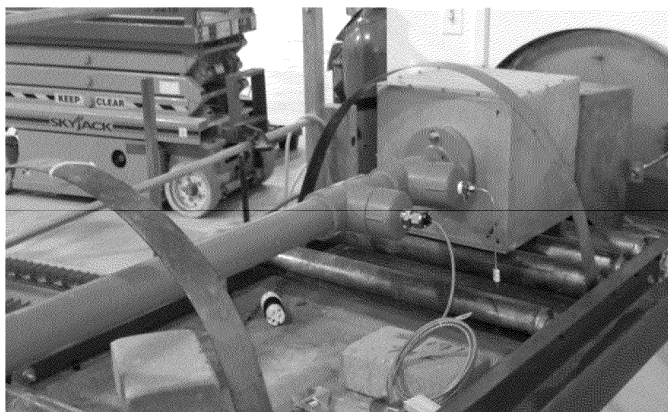


410

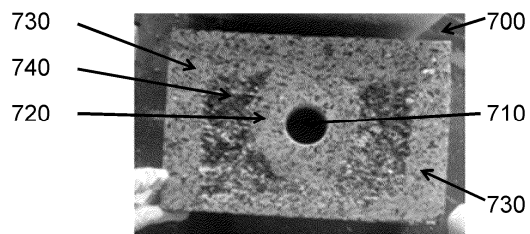
Фиг. 4



Фиг. 5



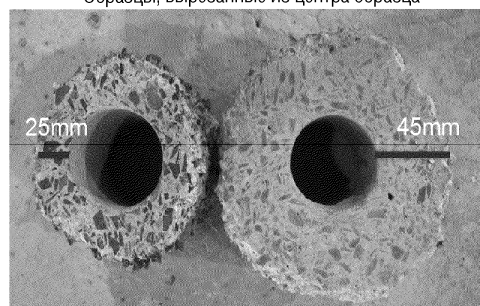
Фиг. 6



Фиг. 7

## РАЗЛИЧИЕ В ГЛУБИНЕ РЕАКЦИИ КАК ФУНКЦИЯ СКОРОСТИ ПОТОКА

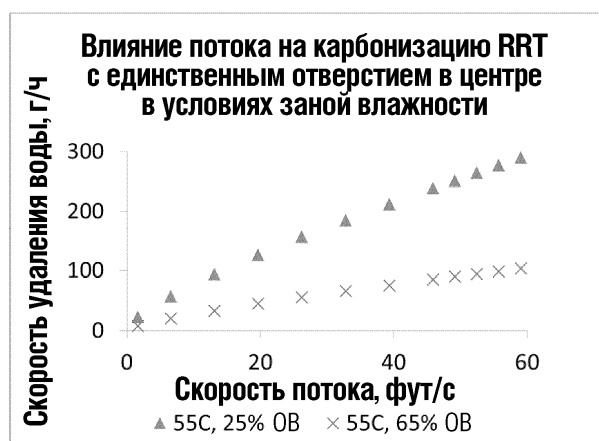
23 фут/сек                      42.5 фут/сек  
 30.54 куб.фут/мин          55.63 куб.фут/мин  
 15.9 миль/час                29 миль/час  
 Образцы, вырезанные из центра образца



Фиг. 8



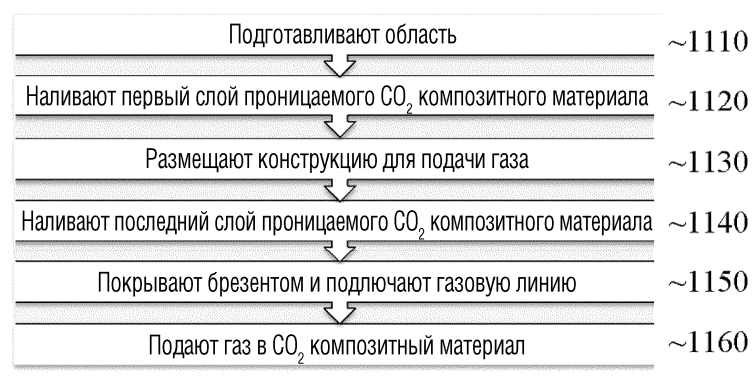
Фиг. 9



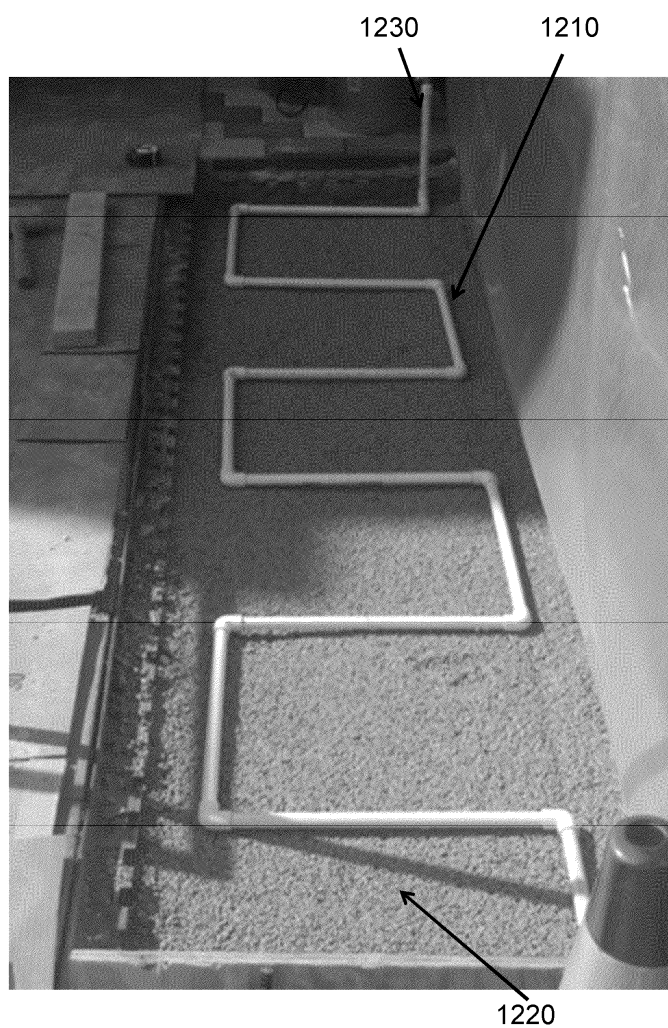
Фиг. 10



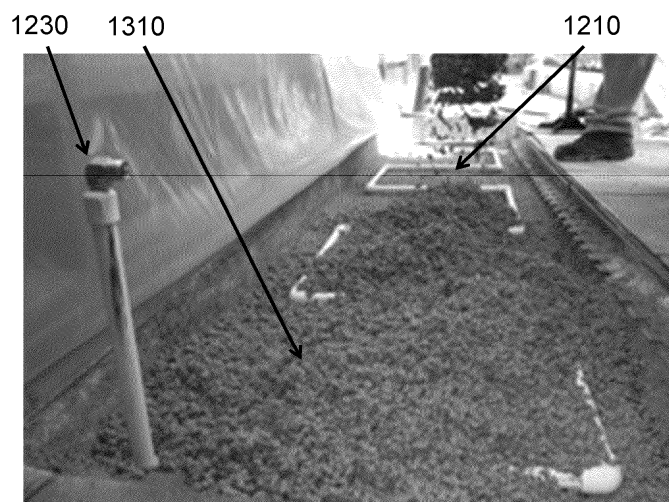
## Блок схема способа 1100



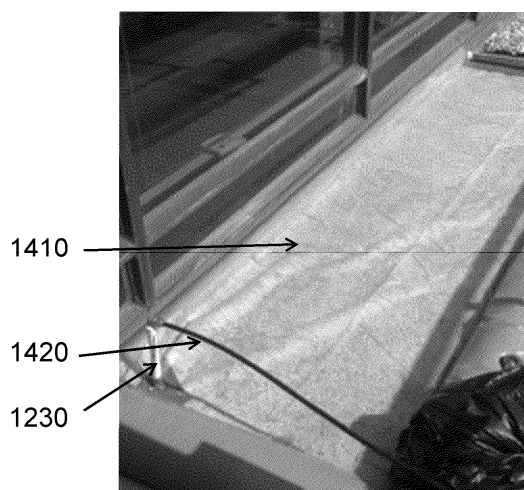
Фиг. 11



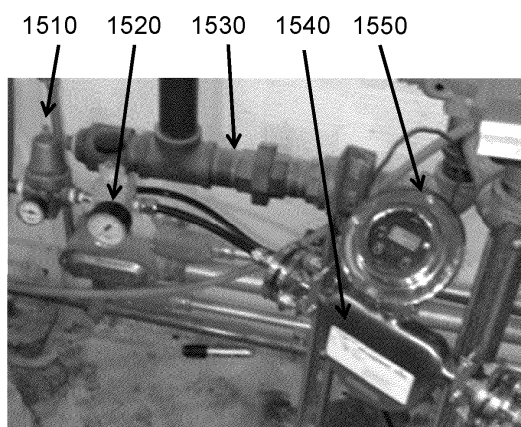
Фиг. 12



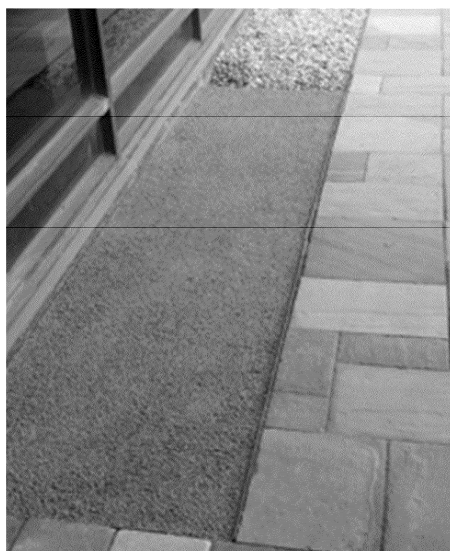
Фиг. 13



Фиг. 14

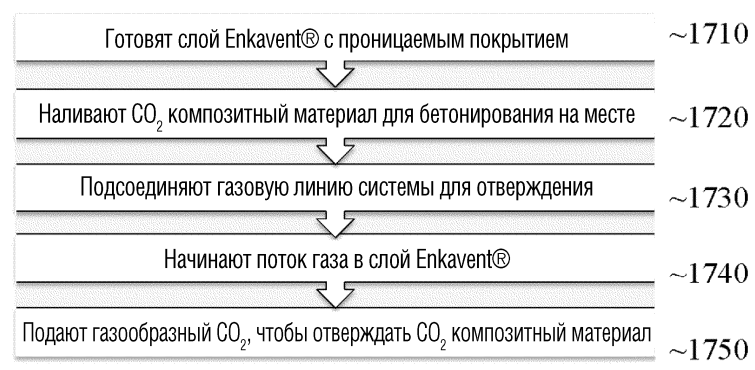


Фиг. 15

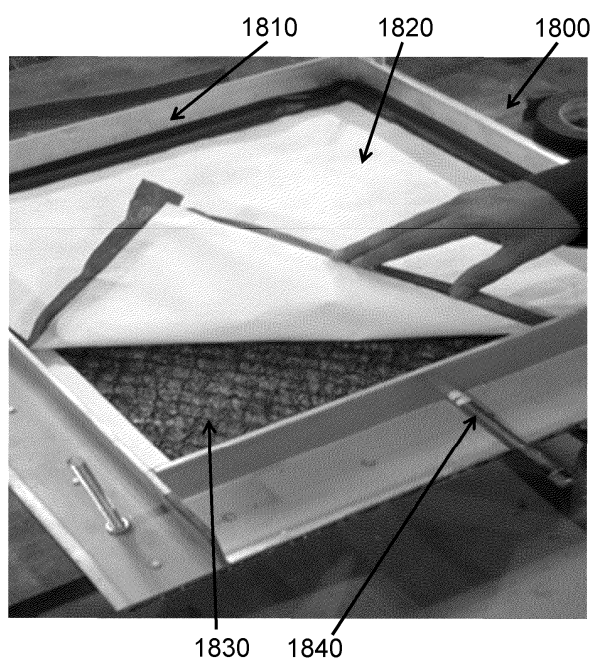


Фиг. 16

## Блок схема способа 1700



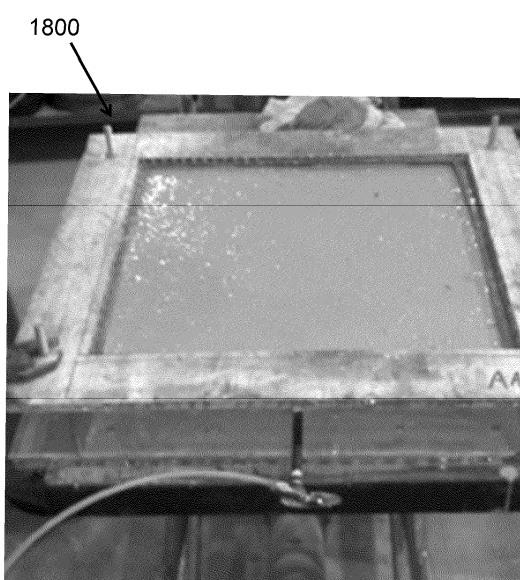
Фиг. 17



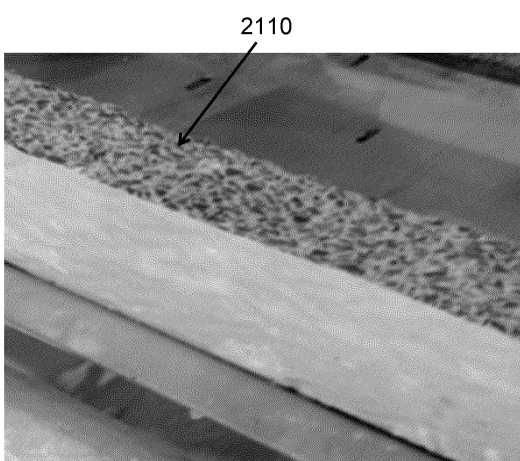
Фиг. 18



Фиг. 19

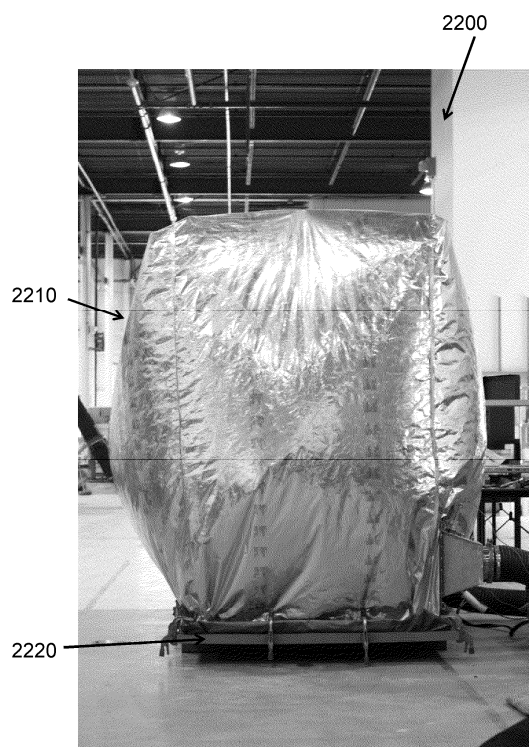


Фиг. 20



Фиг. 21

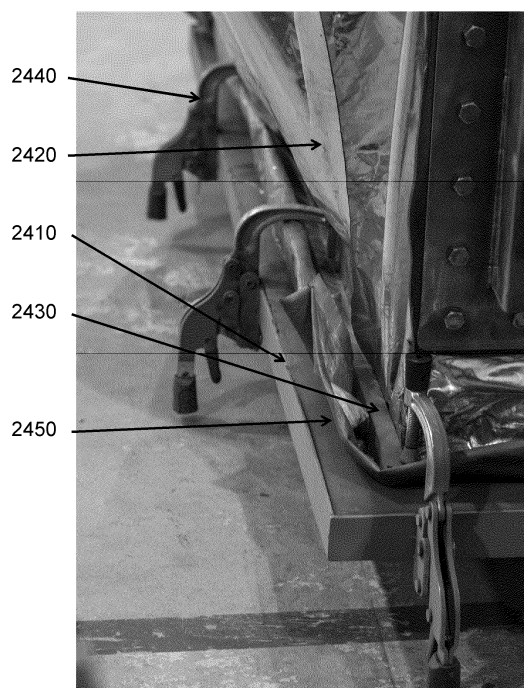
040229



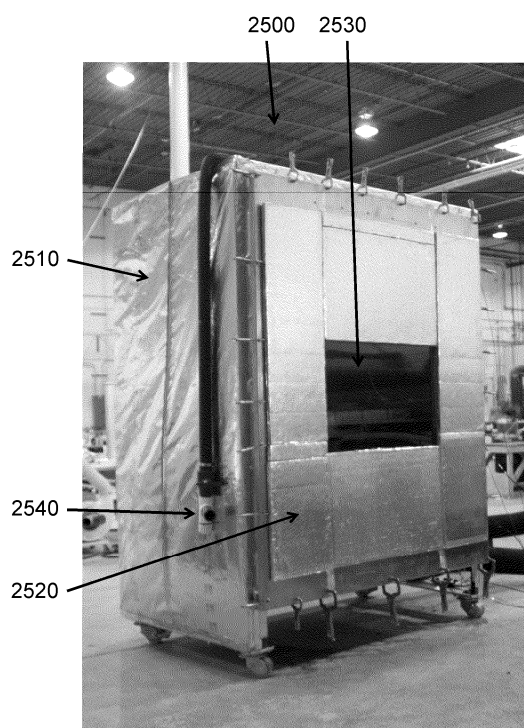
Фиг. 22



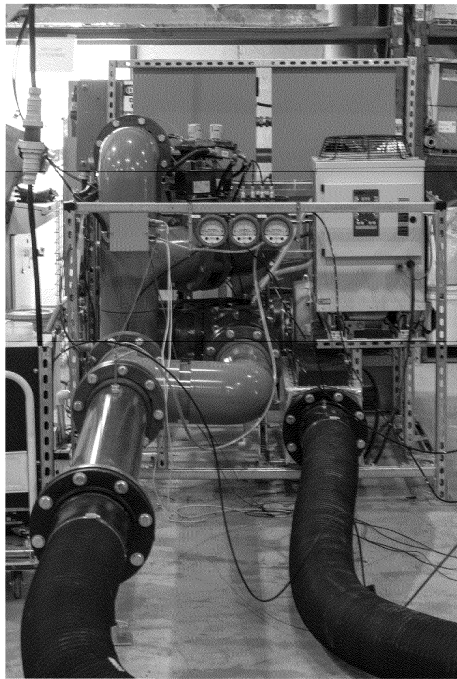
Фиг. 23



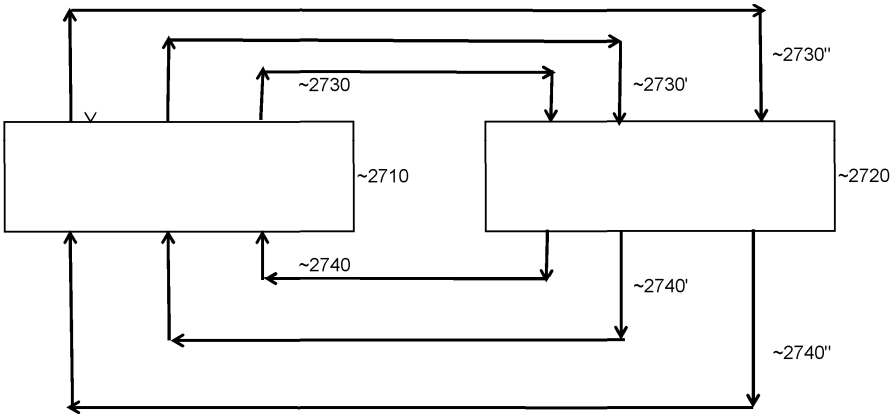
Фиг. 24



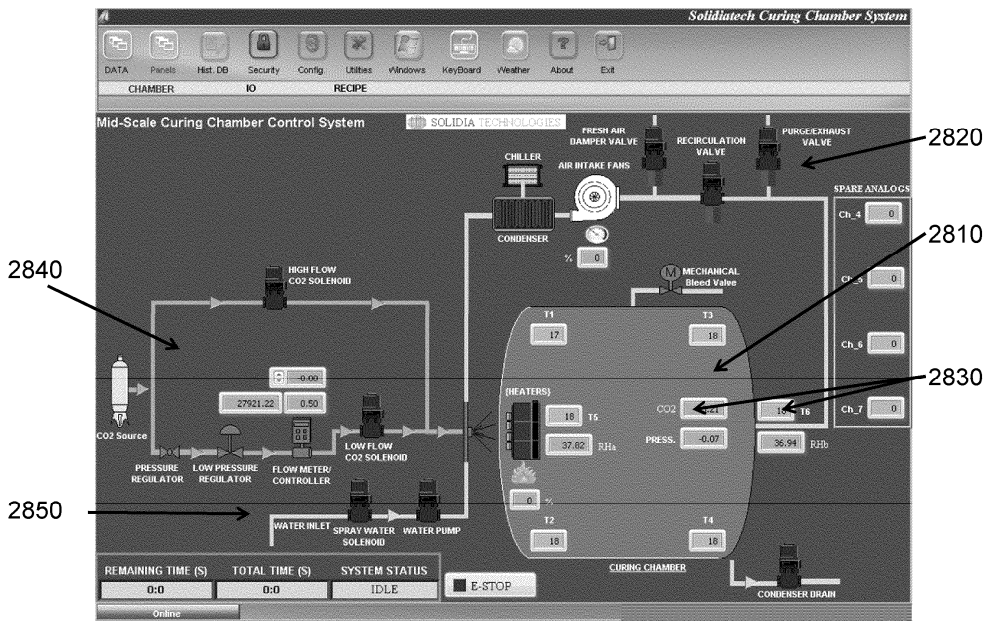
Фиг. 25



Фиг. 26

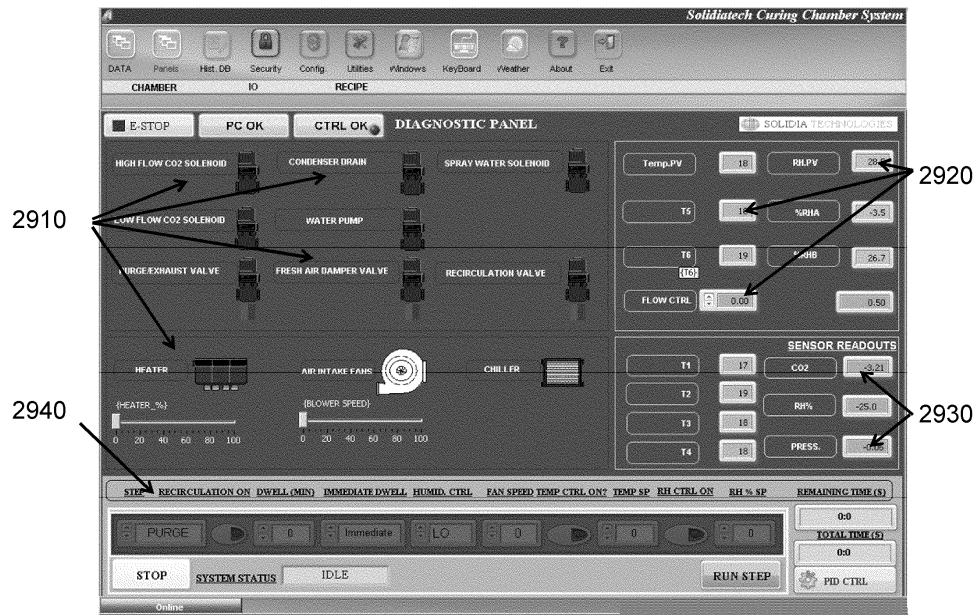


Фиг. 27

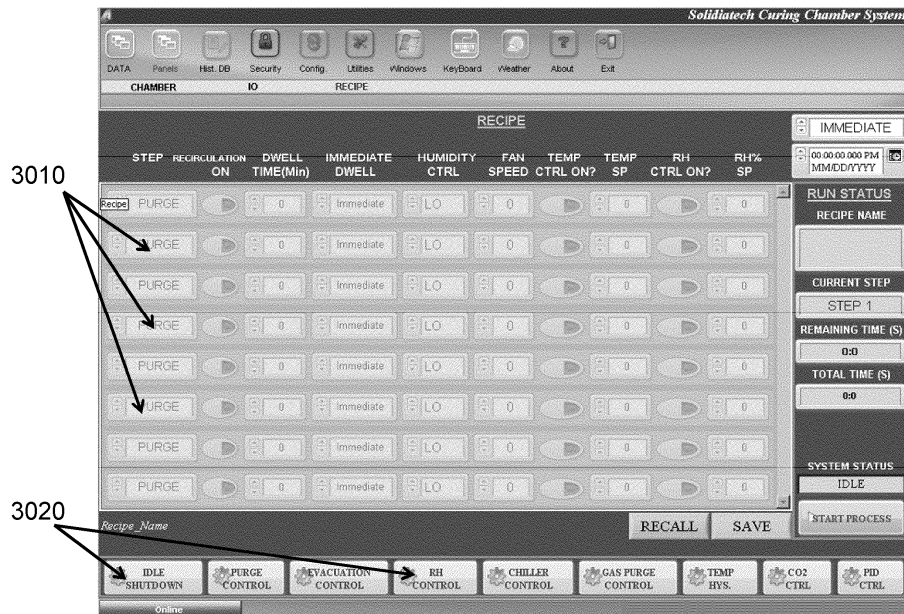


Фиг. 28



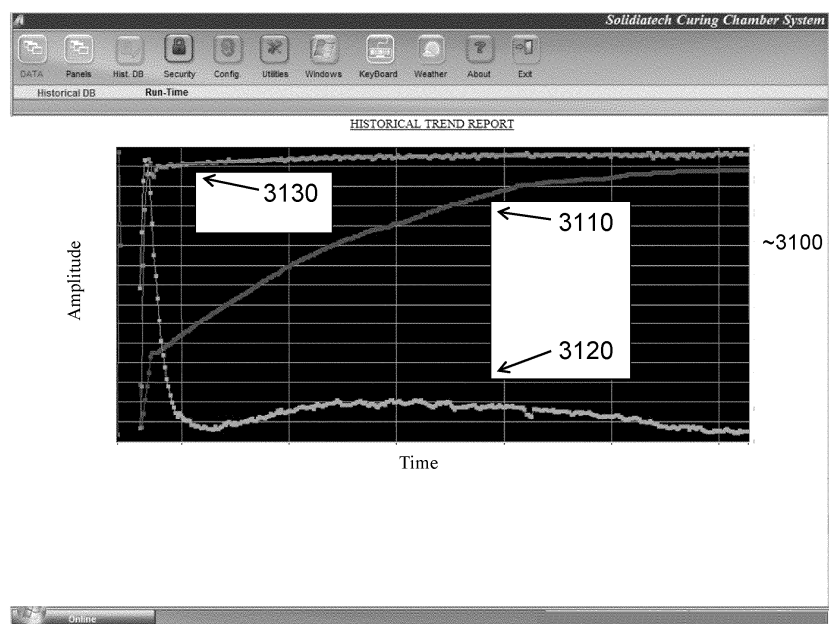


Фиг. 29



Фиг. 30





Фиг. 31

