

## НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВАЛКОВ МНОГОВАЛКОВЫХ ЦЕНТРИФУГ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ И СИСТЕМ ИХ ОХЛАЖДЕНИЯ

*Г.И. Коваль, Т.Г. Каримова*

## NEW ROLLS CONSTRUCTIONS OF MANY-ROLLS CENTRIFUGES TO PRODUCE MINERAL WOOL AND THEIR COOLING SYSTEMS

*G.I. Koval, T.G. Karimova*

**Представлены недостатки существующих и защищенные патентами России новые конструкции валков многовалковых центрифуг для получения минеральной ваты с эффективными системами их охлаждения.**

*Ключевые слова: многовалковые центрифуги, минеральная вата, валки, системы охлаждения.*

**The article presents the disadvantages of existing and new Russian patented rolls constructions of many-rolls centrifuges to produce mineral wool with efficient cooling systems.**

*Keywords: many-rolls centrifuges, mineral wool, rolls, cooling systems.*

При производстве минераловатных изделий для получения из минерального расплава ваты широко применяются многовалковые, чаще всего четырехвалковые центрифуги [1] с цилиндрическими валками.

Одним из важнейших требований, предъявляемым к конструкциям валков центрифуг, является организация эффективной системы их охлаждения, позволяющей повысить срок службы валков.

Для организации наиболее эффективного внутреннего охлаждения валков, исключающего попадания охлаждающей жидкости на минеральный расплав, цилиндрические валки центрифуг выполняют полыми. Для охлаждения наружной поверхности валков, на которую подается минеральный расплав, во внутреннюю полость валков подается охлаждающая жидкость с использованием известной системы «труба в трубе».

Анализ технической и патентной литературы [1–10] показал, что, несмотря на актуальность, вопросам совершенствования конструкций валков и создания эффективных систем их охлаждения уделяется недостаточно внимания. Известные технические решения имеют существенные недостатки.

В многовалковой центрифуге [3] охлаждающая жидкость подается во внутренние полости валков через трубку, проходящую внутри вращающиеся от привода полых опорных валов, на которые посажены указанные валки. Отвод охлаждающей жидкости из полого валка осуществляется через зазоры между трубкой и полым опорным валом. Такая конструкция валка не позволяет организовать подачу непрерывного потока охлажда-

ющей жидкости для обеспечения эффективного охлаждения полых валков.

В валки многовалковой центрифуги [4] подача охлаждающей жидкости осуществляется через дополнительно выполненные канавки, кольцевые выточки и каналы. Отвод охлаждающей жидкости из полого валка осуществляется через каналы в его торцевой поверхности. Применение такой конструкции обеспечивает снижение массы охлаждающей жидкости, находящейся в полых валках. Это позволяет уменьшить усилия, действующие на полые опорные валы и их подшипники, а также снизить мощность привода устройства для получения минеральной ваты. Однако такая конструкция также не позволяет осуществлять эффективное охлаждение внутренних поверхностей полого валка из-за невозможности организации непрерывного потока охлаждающей жидкости от входа ее в полость валка до выхода наружу. Это объясняется тем, что между равномерно распределенной центробежными силами вдоль внутренней цилиндрической поверхности полого валка охлаждающей жидкостью и охлаждаемой поверхностью образуется паровая «подушка». При этом под воздействием динамического напора пара охлаждающая жидкость вытесняется от охлаждаемой поверхности. Из-за этого охлаждающая жидкость после входа ее во внутреннюю полость валка вытекает из нее, не контактируя с охлаждаемыми поверхностями. Под паровой «подушкой» резко повышается температура охлаждаемой поверхности валка.

Валки многовалковой центрифуги [5], несмотря на применение дополнительных элементов

в виде перегородки и диафрагмы для направления потока охлаждающей жидкости, не позволяет осуществлять эффективное охлаждение как цилиндрической, так и торцевых поверхностей полого валка. Это объясняется недостаточным учетом физических закономерностей теплообмена между вращающимися полыми валками и находящейся в них охлаждающей жидкостью. Во вращающихся на пределе прочностных условий полых валках охлаждающая жидкость за счет центробежных сил перемещается к их внутренней цилиндрической поверхности с большой скоростью и равномерно распределяется по ней. Из-за этого на внутреннюю цилиндрическую поверхность полого валка действует высокое давление охлаждающей жидкости. В средней части полого валка создается зона пониженного давления. При вращении полого валка в связи с описанными закономерностями организуется следующая неблагоприятная схема перемещения охлаждающей жидкости: подача охлаждающей жидкости в полый валок, перемещение ее центробежными силами к внутренней цилиндрической поверхности полого валка, перемещение избытка жидкости в зону разряжения средней части полого валка и выход ее наружу через зазоры между трубкой подачи охлаждающей жидкости и полым опорным валом. Из-за этого во входной полости валка потоки входящей и выходящей охлаждающей жидкости будут пересекаться, нарушая точность перемещения охлаждающей жидкости и снижая эффективность системы охлаждения.

Кроме того, при данной конструкции валка охлаждающая жидкость совершает вращательное движение вместе с охлаждаемыми внутренними поверхностями валка. Это исключает относительное тангенциальное перемещение внутренней цилиндрической поверхности полого валка относительно охлаждающей жидкости, необходимое для эффективного теплообмена между ними. Поток охлаждающей жидкости организуется только за счет превышения ее давления на входе в полый валок над ее давлением на выходе из полого валка.

Этой конструкции валка свойственны также недостатки многовалковой центрифуги [4], связанные с образованием паровой «подушки» на внутренней поверхности валка и противодействием образующегося «водяного затвора» выходу пара из внутренней полости валка наружу. Водяной затвор перекрывает зазор между трубкой и цилиндрической поверхностью полого опорного вала.

Таким образом, комплекс указанных недостатков данной конструкции многовалковой центрифуги приводит к перегреву полых валков, действию на них повышенных силовых и термических напряжений, что является причиной быстрого износа их наружной цилиндрической поверхности, коробления, образования на них трещин.

Для устранения указанных недостатков известных конструкций валков многовалковых цен-

трифуг предложен ряд конструкций этих механизмов с системами их охлаждения.

*Валок многовалковой центрифуги с винтовой и спиральной нарезками на его внутренних поверхностях [11]*

Валок (рис. 1–3) состоит из обоймы 1 с торцевой и цилиндрической поверхностями, посаженной и закрепленной винтами на полом опорном валу 2 с торцевой поверхностью. Полый опорный вал 2 опирается на подшипники 3. Внутри полого опорного вала 2 с зазором установлена трубка 4 для подачи охлаждающей жидкости. На внутренней торцевой поверхности обоймы 1 по спирали выполнены канавки 5 с направлением спирали против направления вращения валка. На внутренней торцевой поверхности полого опорного вала 2 по спирали выполнены канавки 6 с направлением спирали по направлению вращения полого валка. Направление спирали показано на рис. 2, 3 стрелками, выполненными по дуге. Наиболее эффективно применение спирали Архимеда, обеспечивающей радиальное перемещение пара и горячей охлаждающей жидкости с постоянной скоростью при постоянной окружной скорости. На внутренней цилиндрической поверхности обоймы 1 выполнена винтовая нарезка 7 в направлении, совпадающем с направлением вращения полого валка, если смотреть со стороны привода. Направление винтовой нарезки на рис. 1 показано сплошными наклонными стрелками.

Работа валка с системой охлаждения осуществляется следующим образом.

Валок осуществляет вращение по направлению сплошных стрелок (см. рис. 2, 3), выполненных по радиусу. При подаче расплава на валок наружная цилиндрическая поверхность обоймы 1 (см. рис. 1–3) нагревается. От данной поверхности тепло передается сначала на внутреннюю цилиндрическую поверхность обоймы 1, а затем на торцевые поверхности обоймы 1 и полого опорного вала 2. Для охлаждения этих поверхностей внутрь каждого полого валка через трубку 4 подается охлаждающая жидкость. Направление течения охлаждающей жидкости внутри валка показано сплошными и дугообразными стрелками вдоль внутреннего его периметра. За счет центробежных сил и спиральных канавок 5 на внутренней торцевой поверхности обоймы 1 охлаждающая жидкость перемещается к внутренней цилиндрической поверхности обоймы 1. При этом она охлаждает внутреннюю торцевую поверхность обоймы 1. За счет центробежных сил охлаждающая жидкость сосредотачивается на внутренней цилиндрической поверхности обоймы 1. При перегреве на данной поверхности образуется «паровая подушка», препятствующая проникновению охлаждающей жидкости к внутренней цилиндрической поверхности обоймы 1. При вращении обоймы 1 с помощью винтовой нарезки 7 слой пара вместе с горячей

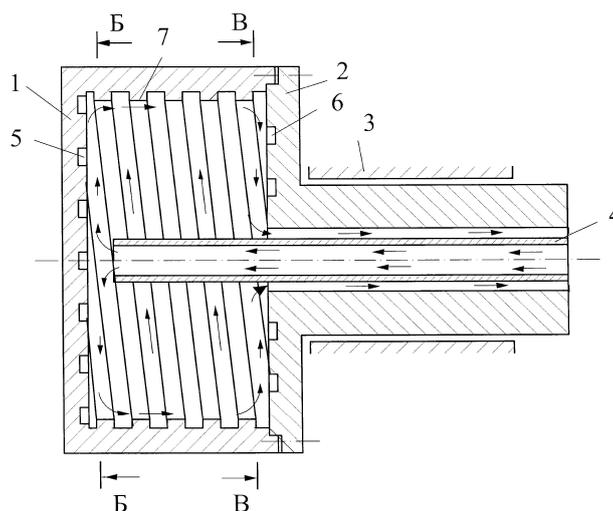


Рис. 1. Валок с винтовой и спиральной нарезкой на его внутренних поверхностях

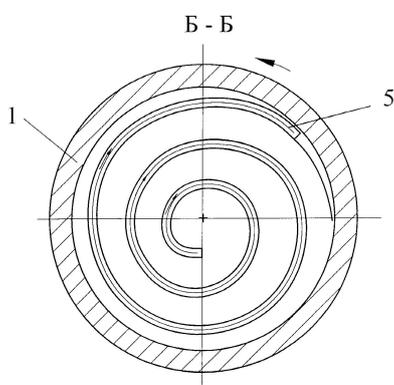


Рис. 2. Вид на торцевую поверхность обоймы

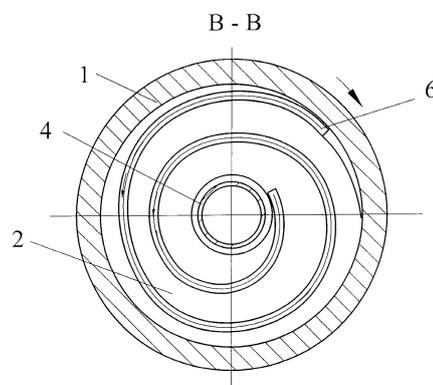


Рис. 3. Вид на торцевую поверхность опорного вала

охлаждающей жидкостью перемещается к внутренней торцевой поверхности опорного вала 2 и вдоль нее с помощью спиральных канавок 6 перемещается в среднюю часть полого валка, имеющую за счет центробежных сил низкое давление. Отсюда охлаждающая жидкость через зазор между внутренней поверхностью полого опорного вала 2 и трубкой 4 выходит наружу.

*Валок многовалковой центрифуги со встроенным осевым насосом [12]*

Полый валок (рис. 4) включает обойму 1 с торцевой и цилиндрической поверхностями, посаженную на полый опорный вал 2 с торцевой поверхностью и прикрепленную к нему винтами. Полый опорный вал 6 опирается на подшипники 3. Внутри обоймы 1 и полого опорного вала 2 с зазором установлена трубка 7 для подачи охлаждающей жидкости, на которой неподвижно закреплена кольцевая перегородка 4, образующая кольцевой зазор внутренней цилиндрической поверхностью обоймы 1. В полость полого опорного вала 2 посажена втулка 5 с винтовой нарезкой, выполненной по направлению его вращения, если смотреть со стороны привода данного опорного вала. От по-

ворота относительно полого опорного вала 2 втулка 5 зафиксирована шпонкой 6.

Работа валка такой конструкции с системой охлаждения осуществляется следующим образом.

Включается привод и валок осуществляет вращение. На наружную цилиндрическую поверхность валка подается горячий расплав. При этом наружная цилиндрическая поверхность обоймы 1 (см. рис. 4) нагревается. От данной поверхности тепло передается сначала на внутреннюю цилиндрическую поверхность обоймы 1, а затем на торцевые поверхности обоймы 1 и полого опорного вала 2. Для охлаждения этих поверхностей внутрь каждого полого валка через трубку 7 подается охлаждающая жидкость. Направление течения охлаждающей жидкости внутри полого валка показано сплошными и дугообразными стрелками вдоль внутреннего его периметра. За счет центробежных сил охлаждающая жидкость перемещается к внутренней цилиндрической поверхности обоймы 1 между ее внутренней торцевой поверхностью и кольцевой перегородкой 4. При этом охлаждается внутренняя торцевая поверхность обоймы 1. За счет центробежных сил охлаждающая жидкость сосредотачивается на указанной части внутренней

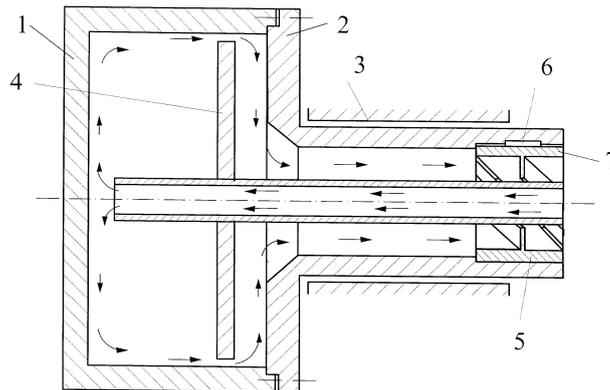


Рис. 4. Валок с внутренней кольцевой перегородкой и осевым насосом

цилиндрической поверхности обоймы 1. При перегреве на данной поверхности образуется «паровая подушка», препятствующая проникновению к ней охлаждающей жидкости. При этом за счет вращения полого опорного вала 2 вместе с втулкой 5 с винтовой нарезкой в направлении вращения полого опорного вала 2, выполняющих функцию осевого насоса, в полостях валка и опорного вала от кольцевой перегородки 4 до втулки 5 создается зона разрежения (низкого давления). Благодаря этому охлаждающая жидкость и пар перемещаются в указанную зону разрежения через кольцевой зазор между кольцевой перегородкой 4 и внутренней цилиндрической поверхностью обоймы 1. При этом осуществляется охлаждение торцевой и внутренней цилиндрической поверхности полого опорного вала 2. Пройдя втулку 5 с винтовой нарезкой, горячая охлаждающая жидкость и образовавшийся пар выталкиваются наружу с помощью лопастей винтовой нарезки.

*Валок многовалковой центрифуги с винтовой нарезкой на внутреннем полом герметичном барабане [13]*

Валок (рис. 5) выполнен полым и включает обойму 1 с торцевой и цилиндрической поверхно-

стями, посаженную на полый опорный вал 2 с торцевой поверхностью и прикрепленную к нему винтами. Полый опорный вал 2 опирается на подшипники 3. Внутри обоймы 1 и полого опорного вала 2 через втулку 4 с отверстиями для выхода охлаждающей жидкости стационарно установлена трубка для подачи охлаждающей жидкости 5, на которой посажен и закреплен полый герметичный барабан 6, образующий зазоры с внутренней торцевой и цилиндрической поверхностью обоймы 1 и торцевой поверхностью опорного вала 2. Втулка 4 выполняет роль подшипника скольжения между вращающимся полым опорным валом 2 и стационарной трубкой 5 подачи охлаждающей жидкости. Вдоль наружной цилиндрической поверхности полого герметичного барабана 6 выполнена винтовая нарезка 7 по направлению вращения полого опорного вала 2 и обоймы 1, если смотреть от обоймы 1 в сторону полого опорного вала 2.

Работа валка с такой системой охлаждения осуществляется следующим образом.

На наружную цилиндрическую поверхность валка подается горячий расплав. При этом наружная цилиндрическая поверхность обоймы 1 (см. рис. 5) нагревается. От данной поверхности тепло передается сначала на внутреннюю цилиндриче-

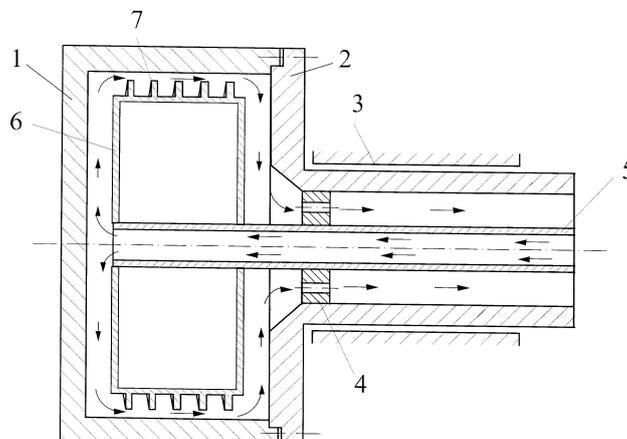


Рис. 5. Валок с винтовой нарезкой на внутреннем полом герметичном барабане

скую поверхность обоймы 1, а затем на торцевые поверхности обоймы 1 и полого опорного вала 2. Для охлаждения этих поверхностей внутрь каждого полого вала через трубку 7 подается охлаждающая жидкость.

Направление течения охлаждающей жидкости внутри полого вала показано сплошными и дугообразными стрелками вдоль внутреннего его периметра. Охлаждающая жидкость проходит по трубке 5 через полый герметичный барабан 6 к внутренней торцевой поверхности обоймы 1. Далее центробежными силами охлаждающая жидкость перемещается вдоль торцевой поверхности обоймы 1 к ее внутренней цилиндрической поверхности. При этом охлаждается внутренняя торцевая поверхность обоймы 1. Затем охлаждающая жидкость перемещается поступательно вдоль внутренней цилиндрической поверхности обоймы 1 за счет перепада давления и совершает вращательное движение за счет ее фрикционного взаимодействия с внутренней цилиндрической поверхностью вращающейся обоймы 1. Движение охлаждающей жидкости по винтовой линии обеспечивается винтовой нарезкой полого герметичного барабана 6. При этом окружная скорость охлаждающей жидкости меньше окружной скорости указанной поверхности обоймы 1, так как коэффициент трения между ними меньше единицы.

При перегреве на внутренней цилиндрической поверхности обоймы 1 образуется «паровая подушка», препятствующая проникновению к ней охлаждающей жидкости. Превышение окружной скорости внутренней цилиндрической поверхности обоймы 1 над окружной скоростью охлаждающей жидкости, перемещение охлаждающей жидкости по винтовой линии и под давлением перпендикулярно торцевой поверхности обоймы 1 создает систему охлаждения, обеспечивающую удаление паровой «подушки» с внутренней поверхности обоймы 1.

Далее горячая охлаждающая жидкость и образовавшийся из нее пар за счет превышения давления на входе в полый валок над давлением на выходе из него перемещаются вдоль торцевой поверхности полого опорного вала 2, охлаждая ее. Затем через зазор между наружной поверхностью трубки 5 и внутренней цилиндрической поверхностью полого опорного вала 2 охлаждающая жидкость и образовавшийся из нее пар выходят наружу. При этом они проходят через отверстия во втулке 4.

*Валок многовалковой центрифуги с применением для его охлаждения хорошо смачиваемого материала [14]*

Валок многовалковой центрифуги для получения минеральной ваты (рис. 6, 7) выполнен полым и включает обойму 1 с торцевой и цилиндрической поверхностями, посаженную на полый опорный вал 2 с торцевой поверхностью и прикре-

пленную к нему винтами. Полый опорный вал 2 опирается на подшипники 3. Внутри обоймы 1 и полого опорного вала 2 с зазором стационарно установлен полый барабан 4. Внутри полого опорного вала 2 через подшипник 5 и опорную шайбу 6 с отверстиями стационарно установлена трубка 7 подачи охлаждающей жидкости, которая в свою очередь закреплена внутри полого стационарно установленного барабана 4. Внутренние полости полого стационарно установленного барабана 4 и трубки 7 подвода охлаждающей жидкости сообщаются отверстиями в трубке 7 подвода охлаждающей жидкости. На полом стационарно установленном барабане 4 в его пазах на торцевых и цилиндрических поверхностях установлен смачиваемый материал 8, контактирующий с внутренними цилиндрической и торцевой поверхностями обоймы 1 и торцевой поверхностью опорного вала 2. Смачиваемый материал 8 входит во внутреннюю полость полого стационарно установленного барабана 4.

Работа вала многовалковой центрифуги осуществляется следующим образом.

Включается привод его вращения. На наружную цилиндрическую поверхность вала подается горячий расплав. При этом наружная цилиндрическая поверхность обоймы 1 (см. рис. 6, 7) нагревается. От данной поверхности тепло передается сначала на внутреннюю цилиндрическую поверхность обоймы 1, а затем на торцевые поверхности обоймы 1 и полого опорного вала 2. Для охлаждения этих поверхностей внутрь каждого полого вала через трубку 7, отверстия в ней охлаждающая жидкость подается во внутреннюю полость стационарно установленного барабана 4. Направление течения охлаждающей жидкости показано сплошными прямыми и дугообразными линиями со стрелками. Охлаждающая жидкость, взаимодействуя с хорошо смачиваемым материалом 8, «впитывается» в него и за счет контакта смачиваемого материала 8 с внутренними цилиндрической и торцевой поверхностями обоймы 1 и торцевой поверхностью опорного вала 6 смачивает их, охлаждая, данные поверхности. Одновременно при вращении обоймы 5 и опорного вала 6 обеспечивается удаление паровой «подушки» с их внутренних цилиндрической и торцевой поверхностей за счет трения с неподвижным смачиваемым материалом 8. Пар, проходя через зазоры между внутренними цилиндрической, торцевой поверхностью обоймы 4, торцевой поверхностью полого опорного вала 2 и наружной поверхностью полого стационарно установленного барабана 4, через зазоры между смачиваемым материалом 8, сквозь отверстия в опорной шайбе 6, через зазоры между внутренней поверхностью полых вращающихся опорных валов 2 и наружной поверхностью трубки подвода охлаждающей жидкости 7, выходит наружу. Направление движения пара показано пунктирными прямыми и дугообразными линиями со стрелками.

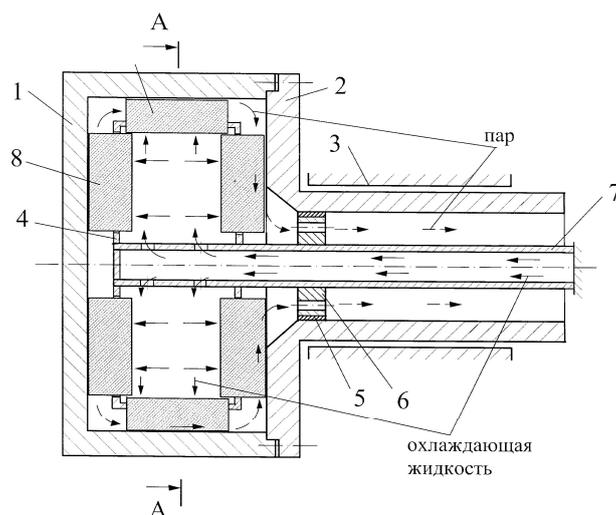


Рис. 6. Продольный разрез валка с применением для его охлаждения смазываемого материала

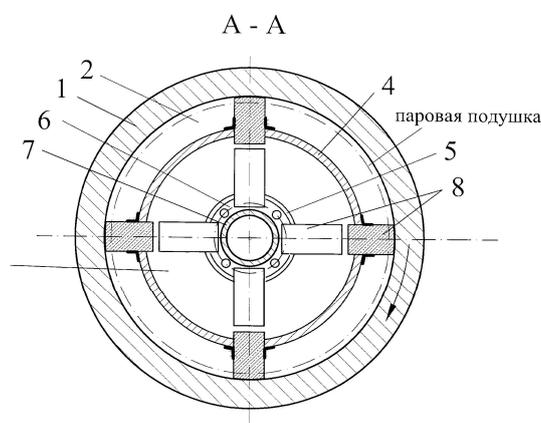


Рис. 7. Поперечный разрез валка с применением для его охлаждения смазываемого материала

Разработанные конструкции валков многовалковых центрифуг обеспечивают эффективное их охлаждение. Это позволяет избежать перегрева валков, что в свою очередь снижает износ их наружной цилиндрической поверхности, устраняет коробление, трещинообразование, повышая в итоге срок службы многовалковых центрифуг.

#### Литература

1. Горлов, Ю.Л. *Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: учеб. для вузов по специальности «Производство строительных изделий и конструкций»* / Ю.Л. Горлов. – М.: Высшая школа, 1989. – 384 с.
2. А. с. 371177 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 03 В 37/04. *Валок вертикально-центробежной установки для производства минеральной ваты* / А.Г. Иванов. – № 1666865/29-33; заявл. 01.06.71; опубл. 22.11.73, Бюл. № 12 – 4 с.: ил.
3. А. с. 1511226 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 03 В 37/04. *Центробежная машина для изготовления минерального волокна* / К.В. Зудилин, А.Г. Комисаров. – № 4354132/23-33; заявл. 27.11.87; опубл. 30.09.89, Бюл. № 36 – 4 с.: ил.
4. А. с. 523053 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 03 В 37/04. *Устройство для получения минеральной ваты* / Д.И. Олейников, К.К. Эйдукиявичюс. – № 2081294/33; заявл. 08.12.74; опубл. 30.07.76, Бюл. № 28 – 4 с.: ил.
5. Пат. 2059576 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> С03В37/05. *Устройство для получения минеральной ваты* / С.Г. Жуков, А.А. Еремеев, В.А. Градов. – № 92003645/33; заявл. 11.04.1992; опубл. 10.05.1996. – Бюл. № 18. – 5 с.
6. Штром, В.В. *Машины и оборудование для производства теплоизоляционных материалов и изделий* / В.В. Штром. – М.: Машигиз, 1962. – 133 с.
7. Тобольский, Г.Ф. *Минераловатные утеплители и их применение в условиях сурового климата* / Г.Ф. Тобольский, Ю.Л. Бобров. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1981. – 176 с.
8. Гиберов, З.Г. *Механическое оборудование предприятий для производства полимерных и теплоизоляционных изделий* / З.Г. Гиберов, Е.В. Вернер. – М.: Машиностроение, 1973. – 414 с.

## Строительные материалы и изделия

---

9. Китайцев, В.А. *Технология теплоизоляционных материалов: учеб. для вузов по специальности «Производство строительных изделий и конструкций»* / В.А. Китайцев. – М.: Стройиздат, 1970. – 384 с.

10. Сухарев, М.Ф. *Производство теплоизоляционных материалов* / М.Ф. Сухарев, И.Л. Майзель, В.Г. Сандлер. – М.: Высшая школа, 1981. – 231 с.

11. Пат. 2369566 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C03B37/04. Устройство для получения минеральной ваты / Г.И. Коваль, Т.Г. Каримова. – № 2008121666/03; заявл. 28.05.2008; опубл. 10.10.2009. – 8 с.

12. Пат. 2369567 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C03B37/04. Устройство для получения минеральной ваты / Г.И. Коваль, Т.Г. Каримова. – № 2008121633/03; заявл. 28.05.2008; опубл. 10.10.2009. – 7 с.

13. Пат. 2372301 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C03B37/04. Устройство для получения минеральной ваты / Г.И. Коваль, Т.Г. Каримова. – № 2008125525/03; заявл. 26.06.2008; опубл. 10.11.2009. – 7 с.

14. Пат. Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C03B37/04. Устройство для получения минеральной ваты / Г.И. Коваль, Т.Г. Каримова. – № 2011154605/03; заявл. 29.12.2011. – 8 с.

*Поступила в редакцию 15 марта 2012 г.*