

Теория расчета строительных конструкций

УДК 697.8:678.3

ГАЗООТВОДЯЩИЕ СТВОЛЫ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ В ДЫМОВЫХ ТРУБАХ БОЛЬШОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В.М. Асташкин¹, С.Б. Шматков², А.С. Шматков^{2, 3}

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

² ООО «Спецвысотстройпроект», г. Челябинск

³ ООО «ТРИС», г. Челябинск

Дымовые газы на крупных энергетических предприятиях России отводятся в основном через монолитные железобетонные трубы высотой 100...370 м и их количество превышает 800 шт. Изменение структуры топливного баланса, современные тенденции в энерго- и ресурсосбережении, а также требования экологии изменяют условия эксплуатации труб и ведут к ускоренному их износу. Кардинальный путь повышения ресурса железобетонных дымовых труб в большой энергетике – установка внутренних газоотводящих стволов из полимерных композитов, главным образом стеклопластиков. По сравнению со стальными стволами применение стеклопластиков позволяет получать более долговечные, легкие и быстро монтируемые газоотводящие стволы, собираемые из получаемых намоткой бесшовных элементов (царг), что дает ярко выраженный экономический эффект. Приводимые в статье и опробованные технические решения по укрупнительной сборке стеклопластиковых царг позволяют существенно удешевить конструкцию подвесов и ствола и сократить сроки монтажа. Предлагаемая разработанная и внедренная конструкция лепесткового конфузора, элементы которого изготавливаются намоткой (переход от нижней части газоотводящего тракта дымовой трубы к стеклопластиковому стволу) является простым и экономически эффективным техническим решением по сравнению с традиционными конструкциями конфузоров. Наибольший эффект может дать изготовление внутренних стволов из полимерных композитов вертикальной намоткой с подращиванием и с размещением намоточного устройства непосредственно внутри дымовой трубы, что позволит исключить операции кантовки царг и их укрупнительной сборки. Приведена оценка эффективности предлагаемого варианта по сравнению с установкой металлического газоотводящего ствола.

Ключевые слова: дымовые трубы, реконструкция, стеклопластики.

В настоящее время на крупных энергетических предприятиях России дымовые газы отводятся в основном через монолитные железобетонные трубы, построенные еще в советское время. Это наиболее крупные дымовые трубы, большинство из них имеет высоту более 100 м, т. е. в соответствии с Градостроительным кодексом относятся к уникальным объектам. Максимальная высота монолитных железобетонных труб в России достигает 370 м, а их количество превышает 800 шт. [1–4]. Стоимость одной такой трубы оценивается сотнями миллионов рублей, от их сохранности зависит работоспособность крупнейших тепловых агрегатов и бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией и теплом.

Изменение структуры топливного баланса, современные тенденции в энерго- и ресурсосбережении, требования экологии, ведут к снижению температур и повышению влажности дымовых газов от энерго- котлоагрегатов. Это существенно меняет условия эксплуатации по сравнению с проектными, происходит конденсация паров воды, образование кислот и осаждение их на внутренних

стенках газоотводящих трактов, разрушая их конструкции. Так многие трубы, предназначенные первоначально на отведение дымовых газов температурой 150...250 °С от сгорания каменного угля, в настоящее время отводят дымовые газы от сгорания природного газа, имеющие температуру 80...120 °С и ниже и содержащие большее количество влаги. В дымовой трубе по мере движения дымовых газов их температура снижается до температуры ниже точки росы (в случае природного газа 65 °С) и происходит выпадение конденсата. Причем большее количество конденсата выпадает в верхней части трубы – там, где стенка тоньше и снижение температуры больше. Многие дымовые трубы отводят дымовые газы с проектной температурой на выходе с котлоагрегата, но объемом значительно меньшим проектного (незагруженность мощностей), что вследствие низкой скорости отводимых газов также приводит к их быстрому остыванию и выпадению конденсата внутри дымовой трубы.

Наиболее рациональный и достаточно апробированный способ защиты несущих конструкций

железобетонной дымовой трубы от агрессивного действия дымовых газов и их конденсата – установка внутреннего газоотводящего ствола. Это позволяет разделить несущие и газоотводящие функции конструкций дымовой трубы, существенно увеличить ее долговечность и надежность, что улучшает энергетическую безопасность потребителей.

Во многих случаях техническое перевооружение путем установки внутреннего газоотводящего ствола – единственный способ продлить ресурс железобетонной дымовой трубы, нормативное значение которого составляет 50 лет. Учитывая, что массовое строительство монолитных железобетонных труб в нашей стране началось в конце 40-х годов прошлого века и практически все эти трубы продолжают эксплуатироваться, примерно 320 труб выработали свой нормативный ресурс, а в ближайшие пять лет их количество достигнет ~ 450 шт.

Традиционно внутренние газоотводящие стволы выполняются из металла. Применяется «черная» сталь, требующая периодических ремонтов по восстановлению антикоррозионной защиты, либо коррозионностойкие сплавы вплоть до титановых (дымовая труба №1 Н = 100 м Первоуральской ТЭЦ). Однако предпочтительнее и экономически целесообразнее применение для изготовления внутренних газоотводящих стволов полимерных композитов (в основном стеклопластиков), главным преимуществом которых является высокая коррозионная стойкость при малом весе. Их стоимость за счет исключения антикоррозионной защиты и в большинстве случаев теплоизоляции сопоставима со стоимостью стального ствола. Для диаметров более 3,0 м (негабаритный транспортный размер), стоимость стеклопластикового ствола оказывается даже ниже, так как стеклопластиковый ствол в этом случае выполняется не сборным из отдельных сегментов, а обычно изготавливается намоткой полного диаметра на месте установки. Кроме того, за счет уменьшения веса ствола удешевляются поддерживающие его конструкции, уменьшаются сроки и стоимость монтажа. На увеличение экономического эффекта также оказывает влияние повышение срока службы и исключение (либо сокращение) потерь от остановки производства на период ремонта труб.

Экономический эффект от внедрения на объектах топливно-энергетического и жилищно-коммунального хозяйства Москвы дымовых труб из стеклопластика подтвержден расчетом, утвержденным правительством Москвы в 2013 г.

Традиционно конструкция внутренних газоотводящих стволов из стеклопластика предусматривает их подвеску отдельными царгами внутри трубы на металлических площадках, опирающихся на внутренние железобетонные консоли ствола. Царги обычно стыкуются друг с другом раструбными соединениями, допускающими податливость для компенсации температурных деформаций. При

этом шаг площадок по высоте привязан к шагу консолей, который составляет обычно 10...20 м. Учитывая трудности подачи стеклопластиковых царг через проем газохода в зону монтажа, длина царг обычно не превышает 5 м, это ведет к большому числу подвесок и обслуживаемых раструбных стыков. Поэтому рациональнее укрупнение царг в секцию ствола внутри трубы неразъемными стыками с последующим поднятием и подвешиванием всей секции, что позволяет сократить число опорных площадок. Схема монтажа внутреннего ствола для этого случая показана на рис. 1.

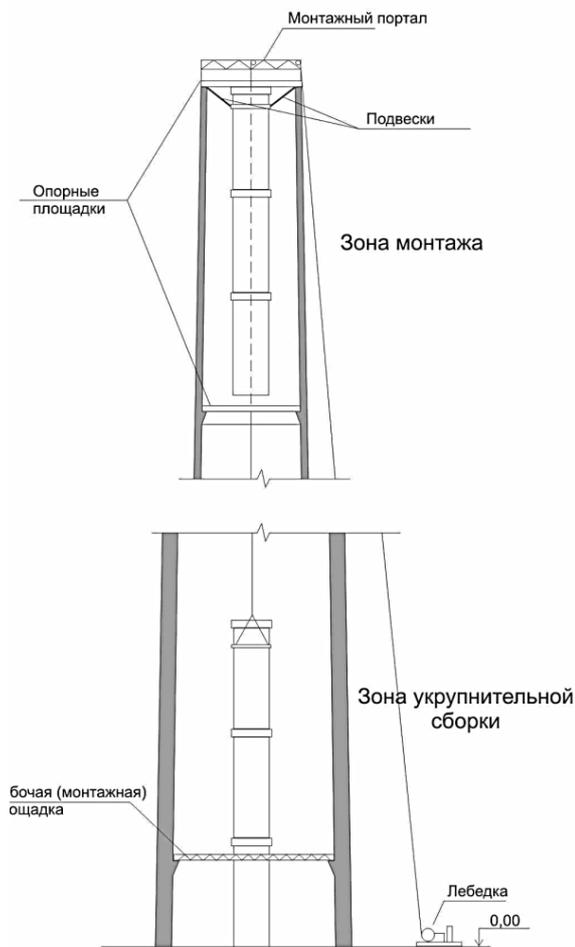


Рис. 1. Схема монтажа внутреннего ствола

Соединение царг в секцию неразъемным стыком – наиболее трудоемкая и продолжительная операция при монтаже стеклопластикового ствола. Применяемые штифтошпилечные соединения дороги в изготовлении. Раструбные соединения требуют бандажирования либо соединения на различных кронштейнах, упорах, стяжках и т. п. [5–7].

Нами предложен и опробован на трубе Н = 90 м КЦ-4 БашРТС (2014 г.) новый тип раструбного соединения с внутренними раклинивающе-упорными выступами [8]. Схема такого соединения дана на рис. 2. Преимущество данного соединения заключается в простоте технологических операций по стыковке, что чрезвычайно важно в монтажных

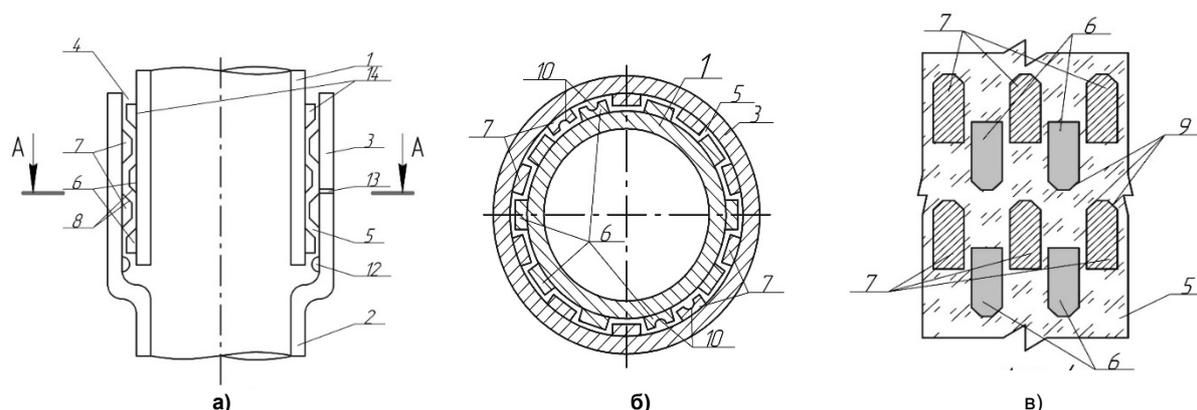


Рис. 2. Схема стыка с внутренними раскливающе-упорными выступами: а) продольный разрез стыка; б) поперечный разрез стыка (А-А); в) развертка сопрягаемых поверхностей

условиях. Скрепляющим элементом стыка является зачеканка из смеси песка, стеклонаполнителя и полимерного связующего в раструбном зазоре, которая после полимеризации раскливается между упорными выступами 6 и 7. Для ускорения монтажа и фиксации соединения на период полимеризации использовались распорные анкера, установленные в заранее просверленные отверстия 13 в стенках раструбного соединения. После полной полимеризации данные элементы могут быть удалены либо сохранены как страховочные связи. Испытания данного стыка показали, что он выдерживает нагрузку более 5 т (до разрушения стыка испытания не были доведены) при проектной нагрузке на данный стык не превышающей 2 т.

Срок монтажа стеклопластикового ствола трубы Н = 90 м КЦ-4 БашРТС с применением предлагаемого типа стыков царг оказался в пять раз меньше, чем аналогичного ствола с бандажированием стыков.

Нижняя часть железобетонной дымовой трубы менее подвержена разрушению, поэтому при техническом перевооружении или реконструкции трубы в ряде случаев рационально внутренний ствол устанавливать не на всю высоту трубы, изменив конструктивное решение ее нижней части. Внутренний стеклопластиковый ствол дымовой трубы выполняется цилиндрическим и на уровне ввода газоходов обычно требуется переход к внутреннему диаметру железобетонного ствола. Этот переход выполняют в форме усеченного конуса, называемого конфузуром. Данный элемент затруднительно выполнить из стеклопластика методом намотки или контактными формованием, тем более что он имеет размеры, выходящие за транспортный габарит. Это приводит к тому, что обычно конфузоры выполняют металлическими сборными с системой продольных и поперечных ребер. Нами предложен и опробован стеклопластиковый конфузор, выполненный из отдельных клиновых лепестков [9]. Причем данные лепестки образованы вырезкой из цилиндрической оболочки того же

диаметра что и основной ствол. Благодаря этому после сборки лепестков оболочка конфузора получает продольные «переломы» (поперечное сечение конфузора по форме напоминает ромашку) своей поверхности, увеличивающие жесткость конструкции. Фотографии контрольной сборки конфузора и вид его снизу в дымовой трубе показан на рис. 3.

По отзывам монтажной организации установка данного конфузора внутри трубы заняла всего одну смену и по сравнению с металлическим оказалась менее трудоемкой.

Для царг дымовых труб большого диаметра определяющими толщиной их стенки являются монтажные нагрузки, поэтому для их изготовления рационален переход от горизонтальной намотки к вертикальной, что позволит исключить операцию кантовки оболочки и снизить монтажные нагрузки, в результате уменьшится материалоемкость оболочки.

Дальнейшее развитие технологии устройства внутренних стволов из полимерных композитов внутри существующих железобетонных труб видится в применении вертикальной намотки с размещением намоточного устройства непосредственно внутри дымовой трубы [7, 10]. При этом возможно изготовление из полимерных композитов секций трубы вертикальной мокрой намоткой на короткой оправке с циклическим подращиванием оболочки снизу до получения ее необходимой длины. Последовательность операций в методе подращивания следующая: наматывается и отверждается первый участок секции трубы, он сдвигается по оправке вверх, далее продолжается намотка следующего участка, при этом образуется монолитный стык между наращиваемым и подращиваемым участком (рис. 4).

Это позволит изготавливать за короткое время непосредственно внутри железобетонной трубы бесшовные секции трубы диаметром до 12 м длиной по 30...50 м, исключив необходимость укрупнительной сборки в секцию относительно корот-



Рис. 3. Контрольная сборка конфузора и вид снизу
на установленный внутри железобетонной дымовой трубы конфузор

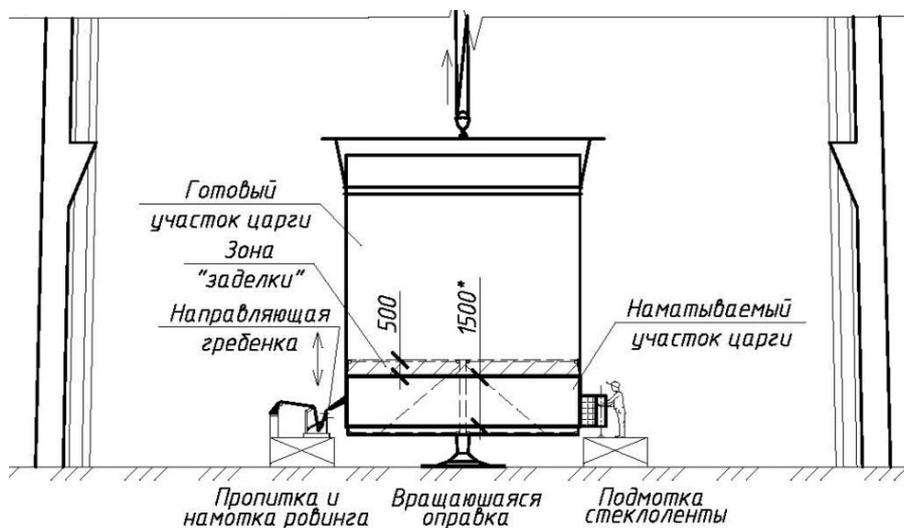


Рис. 4. Схема вертикальной намотки на короткой оправке с циклическим подрачиванием

ких царг, что существенно уменьшит расход материала на ствол трубы и поддерживающие конструкции, снизит стоимость, а также облегчит их монтаж.

В России на энергетических предприятиях имеется несколько дымовых труб высотой 320 м с кремнебетонными внутренними газоотводящими стволами, эти стволы изношены и требуют замены. Разрабатываются проекты замены стволов на металлические, в частности для дымовой трубы

Рязанской ГРЭС высотой 320 м с диаметром ствола 10,2 м, при этом расход металла только на ствол составит 1200 т. Полистовая сварка царг на месте монтажа и укрупнительная сварка царг в секцию ствола по самым скромным расчетам потребует не менее 15 т наплавленного металла, что влечет за собой большую трудоемкость сварочных работ. Кроме того, потребуется антикоррозионная защита и теплоизоляция ствола. Расчеты показывают, что в варианте с таким же стеклопластиковым ство-

Теория расчета строительных конструкций

лом, изготавливаемым внутри трубы методом вертикального подращивания, масса ствола составит не более 300 т. Возвести его можно не более чем за 6 месяцев, при этом не потребуются теплоизоляции и антикоррозионной защиты, на 20 % снизится масса вспомогательных металлоконструкций (площадки, подвески и др.). Стоимость этого варианта будет по крайней мере на 20...30 % ниже, а срок службы ствола – больше.

Выводы

1. Для увеличения ресурса железобетонных дымовых труб наиболее целесообразным по экономическим и техническим соображениям является установка внутренних газоотводящих стволов из полимерных композитов.

2. Разработанные и опробованные технические решения по соединению царг неразъемным раструбным стыком с внутренними расклинивающе-упорными выступами позволяют существенно удешевить внутренний ствол и поддерживающие конструкции, а также сократить сроки монтажа.

3. Предлагаемая конструкция конфузора позволяет изготавливать его элементы намоткой и использовать для этого ту же оправку, что и для самого ствола, а также удешевить конструкцию и упростить монтаж конфузора.

4. Негабаритные элементы газоотводящего ствола дымовых труб из полимерных композитов целесообразно изготавливать вертикальной намоткой с подращиванием и с размещением намоточного устройства непосредственно внутри дымовой трубы, что позволит исключить операции кантовки царг и их укрупнительной сборки и получить бесшовную конструкцию секций трубы.

Литература

1. Купцов, И.П. Проектирование и строительство тепловых электростанций / И.П. Купцов, Ю.Р. Иоффе. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

2. Волков, Э.П. Газоотводящие трубы ТЭС и АЭС / Э.П. Волков, Е.И. Гаврилов, Ф.П. Дужих. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

3. Дужих, Ф.П. Промышленные дымовые и вентиляционные трубы: справ. изд. / Ф.П. Дужих,

В.П. Осоловский, М.Г. Ладыгичев; под ред. Ф.П. Дужих. – М.: Теплотехник, 2004.

4. Асташкин, В.М. Развитие рынка промышленных дымовых, вентиляционных труб и газоходов из полимерных композиционных материалов / В.М. Асташкин // Конференция по вопросу реализации региональных программ внедрения композиционных материалов, конструкций и изделий из них в сфере транспортной инфраструктуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства, транспортировки нефти и газа. – Самара, 2014. – С. 24–25.

5. Дымовые трубы: традиции и инновации: моногр. / В.М. Асташкин, В.С. Жолудов, А.З. Корсунский и др.; под ред. В.М. Асташкина и А.З. Корсунского. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2011. – 496 с.

6. Дымовые трубы и элементы газоотводящих трактов из полимерных композиционных материалов: моногр. / В.М. Асташкин, В.С. Жолудов, А.З. Корсунский и др.; под ред. Б.В. Гусева и К.А. Горелого. – Челябинск: Абрис-принт, 2011. – 155 с.

7. Асташкин, В.М. Методы реконструкции и ремонта дымовых труб / В.М. Асташкин, Д.А. Маликов, М.В. Мишнев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – Вып. 15. – № 38 (297). – С. 14–18.

8. Соединение труб. Патент на ПМ 136521 РФ, МПК F16L 25/10/ С.Б. Шматков, В.М. Асташкин. – Заявл. 27.05.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. – 8 с.

9. Сборная конусообразная стеклопластиковая оболочка. Патент на ПМ 135050 РФ, МПК F16K3/00 / С.Б. Шматков, В.М. Асташкин, Г.К. Ковалева, О.И. Ахматова. – Заявл. 05.03.2013; опубл. 27.11.2013, Бюл. № 33. – 6 с.

10. Основные принципы технологии изготовления и возведения дымовых труб из полимерных композиционных материалов способом вертикальной намотки с подращиванием / М.В. Мишнев, В.М. Асташкин, Д.А. Маликов и др. // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2013. – № 3. – <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1837>

Асташкин Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и инженерные сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), avml940@mail.ru

Шматков Сергей Борисович, кандидат технических наук, директор ООО «Спецвысотстройпроект» (Челябинск), expert_chel@mail.ru

Шматков Александр Сергеевич, главный специалист ООО «Спецвысотстройпроект», директор ООО «ТРИС» (Челябинск), alex_shmat@mail.ru

Поступила в редакцию 26 января 2015 г.

POLYMER COMPOSITE GAS EXHAUST PIPES IN CHIMNEYS OF LARGE-SCALE POWER INDUSTRY

V.M. Astashkin, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, avm1940@mail.ru

S.B. Shmatkov, LLC "Spetsvysotstroyproject", Chelyabinsk, Russian Federation, expert_chel@mail.ru

A.S. Shmatkov, LLC "Spetsvysotstroyproject", LLC "TRIS" Chelyabinsk, Russian Federation, alex_shmat@mail.ru

Combustion gases at large Russian power plants are removed through cast-in-block concrete pipes with the height of 100–370 m; and their number is over 800. The changes in the structure of fuel balance, modern trends in the efficient use of energy and resources as well as environmental requirements change the terms of pipe service and lead to their fast wear process. The installation of inner polymer composite gas exhaust pipes and mainly glass fiber plastic is a revolutionary method of increasing the life time of concrete gas exhaust pipes in power industry. Compared to steel pipes the use of glass fiber plastic makes it possible to get more durable, light and fast assembled gas exhaust pipes consisted of coiling solid drawn elements (cylinder shell) which has economic benefits. Proved technical solutions on double jointing of glass fiber plastic cylinder shells given in the article contribute to considerable price reduction for suspension structures and pipes as well as to assembling time period reduction. Developed and implemented spade convergent tubes, elements of which are made by coiling (the transition from the bottom part of gas exhaust ducts of chimneys to the glass fiber plastic pipes) are the easiest and the most economically effective technical solution in comparison with traditional convergent tubes. The production of inner polymer composite ducts of vertical coiling with a coiler inside a chimney stack is the most efficient in deletion of the process of canting cylinder shells and their pre-assembling. The assessment of efficiency of the given variant compared to the installation of a metal gas exhaust duct is performed.

Keywords: chimney exhaust pipes, reconstruction, glass fiber plastic.

References

1. Kuptsov I.P., Ioffe Yu.R. *Proektirovanie i stroitel'stvo teplovykh elektrostantsiy* [Design and construction of thermal power plants]. Moscow, Energoatomizdat Publ, 1985.
2. Volkov E.P., Gavrilov E.I., Duzhikh F.P. *Gazootvodyashchie truby TES i AES* [Flue pipe thermal and nuclear power plants]. Moscow, Energoatomizdat Publ, 1987.
3. Duzhikh F.P., Osolovskiy V.P., Ladygichev M.G. *Promyshlennyye dymovye i ventilyatsionnyye truby* [Industrial smoke and ventilation ducts]. Moscow, Teplotekhnika Publ., 2004.
4. Astashkin V.M. [Development of the market of industrial flue, vent pipes and flues from polymeric composite materials]. *Konferentsiya po voprosu realizatsii regional'nykh programm vnedreniya kompozitsionnykh materialov, konstruksiy i izdeliy iz nikh v sfere transportnoy infrastruktury, stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva, transportirovki nefli i gaza.* [Conference on the implementation of regional programs of introduction of composite materials, structures and products from them in the field of transport infrastructure, construction and housing and communal services, oil and gas transportation]. Samara, 2014, pp. 24–25 (in Russ.).
5. Astashkin V.M., Zholudov V.S., Korsunskiy A.Z., Malyutin E.V., Sporykhin B.B. *Dymovye truby: traditsii i innovatsii.* [Chimneys: tradition and innovation]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2011. 496 p.
6. Astashkin V.M., Zholudov V.S., Korsunskiy A.Z., Malyutin E.V., Sporykhin B.B. *Dymovye truby i elementy gazootvodyashchikh traktov iz polimernykh kompozitsionnykh materialov.* [Chimneys and elements of gas exhaust ducts made of polymer composite materials]. Chelyabinsk, Abris-print Publ., 2011. 155 p.
7. Astashkin V.M., Malikov D.A., Mishnev M.V. [Methods of reconstruction and repair of chimneys]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction and Architecture*, 2012, vol. 15. no. 38(297), pp. 14–18. (in Russ.).
8. Shmatkov S.B., Astashkin V.M. *Soedinenie trub* [Connection of pipes]. Patent RF no 136521, 2014.
9. Shmatkov S.B., Astashkin V.M., Kovaleva G.K., Akhmatova O.I. *Sbornaya konusoobraznaya stekloplastikovaya obolochka* [Combined cone-shaped fiberglass cover]. Patent RF no 135050, 2013.
10. Mishnev M.V., Astashkin V.M., Malikov D.A., Korolev A.S., Zyryanov F.A. [The basic principles of manufacturing technology and construction of chimneys made of polymer composite materials by vertical winding rearing]. *Engineering Journal of Don*, 2013, no. 3. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1837>. (in Russ.).

Received 26 January 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Асташкин, В.М. Газоотводящие стволы из полимерных композитов в дымовых трубах большой энергетики / В.М. Асташкин, С.Б. Шматков, А.С. Шматков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 20–25.

REFERENCE TO ARTICLE

Astashkin V.M., Shmatkov S.B., Shmatkov A.S. Polymer Composite Gas Exhaust Pipes in Chimneys of Large-Scale Power Industry. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2015, vol. 15, no. 2, pp. 20–25. (in Russ.)