СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 699.86:691.619.8

А.Д. Жуков, К.К. Иванов, Д.И. Аристов, А.А. Скиба, Ю.В. Сазонова
ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВАТНОГО
КОВРА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Представлен анализ литературы и результаты исследований, посвященные моделированию и изучению процессов гидродинамики в пористом слое. Отмечено, что корректность данных процессов основана на правильном выборе модели движения вязкой жидкости в пористой среде. Определены параметры оценки свойств высокопористого волокнистого материала, основной из которых — сопротивление движению потока воздуха, которое может быть оценено по величине гидравлического сопротивления, параметра, включающего и характеристики газовой среды. Газовая среда является фактором технологического воздействия на материал в процессе тепловой обработки и параметром оптимизации этого процесса, что важно учитывать для экономии тепла, расходуемого на теплоснабжение зданий.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, пористость, теплопроводность, минеральное волокно, структурная модель, тепловая обработка.

Экономия тепла, расходуемого на теплоснабжение зданий, может быть достигнута за счет оптимизации затрат на его доставку. Мероприятия по снижению затрат включают эффективную теплоизоляцию трубопроводов и внедрение инновационных решений по автоматическому регулированию систем отопления и горячего водоснабжения [1—3]. В качестве теплоизоляции используют изделия из термостойких вспененных пластмасс, а также минераловатные маты и цилиндры, изготавливаемые навивным или нарезным способами.

Преимущество навивных цилиндров заключается не только в их полной заводской готовности, но и в однородности по средней плотности изделий, в т.ч. и в радиальном направлении. Однозначно, минимальная вариация по плотности определяет однородность и по другим показателям, в т.ч. и по теплопроводности.

Критериями эффективности любой теплоизоляции, помимо теплотехнических характеристик, являются ее эксплуатационная стойкость и затраты на изготовление. Тепловая обработка навивных минераловатных цилиндров энергозатратна [4, 5]. Теплоноситель подают в перфорированную скалку (на которую навит минераловатный слой), а нагрев ковра происходит при прохождении теплоносителя сквозь минераловатный слой. Оптимизация этого процесса связана с регулированием свойств минераловатного слоя и в первую очередь гидравлического сопротивления минераловатного ковра.

Процесс движения вязкой жидкости (в гидродинамике газ рассматривается как сжимаемая жидкость) в пористой среде может быть представлен частными решениями системы дифференциальных уравнений Навье — Стокса и уравнений сплошности [6, 7]. В минераловатном слое структура пористой сре-

ды зависит от процентного содержания волокон в единице объема, линейных размеров минераловатного слоя, диаметра и длины минеральных волокон, а также от размеров, количества и формы неволоконистых включений. Отметим, что для минераловатного ковра, изготавливаемого на современном оборудовании, количество неволоконистых включений не превышает 3 %.

Аналитическое описание таких сложных структур возможно только численными методами и не предполагает аналитических решений [8—10]. Даже в самом упрощенном случае, когда гидравлическое сопротивление определяется силами вязкости, уравнения движения вязкой жидкости в пористой среде не интегрируются до расчетных зависимостей.

Помимо численных решений, которые трудоемки и не всегда приводят к получению адекватных результатов, существуют методы, которые предлагает теория подобия. Становится возможным, без интегрирования дифференциальных уравнений, получение расчетных критериальных зависимостей. Эти зависимости определяют, в т.ч. и процесс движения жидкости в пористой среде. Экспериментом установлено, что сила сопротивления, возникающая при фильтрации пористого слоя, в общем виде выражается как некоторая функция числа Re [9, 11].

Корректное моделирование и изучение процессов гидродинамики в пористом слое основано на правильном выборе модели движения, что косвенно определяется одной из трех задач гидродинамики. Внешняя задача гидродинамики рассматривает омывание отдельных частиц потоком, что может быть принято как первый вариант модели. Внутренняя задача гидродинамики рассматривает движение жидкости внутри каналов, образованных взаимным расположением частиц слоя, что является вторым вариантом модели движения жидкости. В первом случае, определяющим размером является эквивалентный диаметр частиц, во втором — эквивалентный диаметр порового канала [12, 13].

Исследованиями установлено, что гидравлическое сопротивление минераловатного ковра линейно зависит от поверхности волокон на единицу объема слоя и имеет обратно пропорциональную зависимость от третьей степени пористости слоя m' [9, 11]. Удельная поверхность слоя является линейной функцией его средней плотности. Гидравлическое сопротивление слоя будет тем выше, чем меньше количество корольков и диаметр волокон.

Для расчета гидравлического сопротивления минераловатного ковра ΔP подсчитывают значение критерия Re для принятой скорости потока в слое, устанавливают величину коэффициента сопротивления f в соответствии с зависимостями:

$$f = \frac{72}{Re} + 0,8;$$

$$\Delta P = f \frac{v^2 \rho S H}{4 g m'^3} \psi,$$

где f — сопротивления движению потока в пористой среде; v — скорости продувки; ρ — средняя плотность; S, H — площадь и толщины ковра; m' — пористость слоя; ψ — коэффициент формы.

Гидравлическое сопротивление минераловатных изделий цилиндрической формы $\Delta P_{\text{ц}}$ может быть определено по зависимости $\Delta P_{\text{ц}} = K_{\text{ц}} \Delta P$. В данном случае $K_{\text{ц}}$ [11, 14] параметр, определяемый из выражения

$$\Delta K_{\text{ц}} = \frac{av \left(\frac{H}{r_0 + H} \right) + bl(1 + H/r_0)}{b + av_0} \frac{r_0}{H},$$

$$a = 0,89\rho \frac{(1-m')^{1/3}}{m'^3}, \quad b = 0,6\mu S^2 \frac{1}{m'^3(1-m')^{2/3}},$$

где l — характерный размер; v, μ — вязкость кинематическая и динамическая.

При тепловой обработке минераловатного ковра продольное течение теплоносителя внутри перфорированной скалки сопровождается одновременной раздачей теплоносителя через боковые стенки, т.е. движение потока происходит с изменяющимся вдоль пути расходом по аналогии с распределительным коллектором. При этом истечение теплоносителя из скалки (длиной 1...2 м) происходит в слой минераловатного ковра с различной проницаемостью. Следовательно, истечение газа через перфорированные стенки скалки будет определяться не только характеристиками отверстий и избыточным давлением внутри скалки, но и структурно-геометрическими характеристиками минераловатного цилиндра, его гидравлическим сопротивлением.

Применяемые для тепловой обработки минераловатных цилиндров интенсивные режимы с высокими скоростями продувки (значение Re для истечения из отверстий скалки не менее 10^5) позволяют принимать значение коэффициента истечения μ постоянным по длине скалки.

На истечение теплоносителя через перфорацию боковых стенок скалки несомненно будут влиять завихрения потока теплоносителя, т.е. радиальная составляющая движения (рис.). Однако учесть это не представляется возможным. Так же невозможно оценить изменение гидравлического сопротивления минераловатного ковра по длине скалки в связи с хаотичностью расположения волокон и корольков и их распределения по диаметрам [15, 16].

Изменение статического давления по длине перфорированной скалки при $D = 27$ мм и $L = 1$ м: 1 — продувка скалки со слоем волокнистого материала при равномерном распределении перфорации; 2 — то же при неравномерном распределении перфорации; 3 — продувка скалки без волокнистого материала при равномерном распределении перфорации; 4 — то же при неравномерном распределении перфорации

При истечении теплоносителя из боковых отверстий в пористый материал на некотором расстоянии отдельные струи теплоносителя соединяются, образуя сплошной поток [17, 18]. Раскрытие струй происходит под определенным углом, зависящим от проницаемости среды. Для минераловатного ковра угол раскрытия струи достаточно велик и достигает 50° , поэтому при малом диаметре отверстий образование сплошного потока завершается на небольшом удалении от стенки скалки.

Увеличение степени перфорации приводит к более резкому изменению статического давления по длине скалки. Характер изменения осевой скорости и статического давления при раздаче теплоносителя из скалки в покоящуюся воздушную среду коррелируется с экспериментальными данными [19, 20]. При истечении теплоносителя в слой волокнистого материала значительно снижается отклонение от равномерного распределения. При продувке скалки со слоем волокнистого материала максимальное отклонение составляет 22,5 %, а без слоя — 60 %.

Увеличение степени перфорации повышает неравномерность раздачи. Однако в экспериментах, при увеличении суммарной степени перфорации в 1,87 раза, благодаря раскрытию перфорации входного участка скалки, практически удалось достичь равномерного распределения.

Библиографический список

1. Ливчак В.И. Реалистичный подход к энергосбережению в существующем жилом фонде города // Энергосбережение. 2002. № 5. С. 14—18.
2. Теличенко В.И. От экологического и «зеленого» строительства — к экологической безопасности строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 2. С. 47—51.
3. Гагарин В.Г. Теплозащита и энергетическая эффективность в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // Энергоэффективность. XXI век : IV Междунар. конгресс. СПб., 2011. С. 187—191.
4. Шмелев С.Е. Пути выбора оптимального набора энергосберегающих мероприятий // Строительные материалы. 2013. № 3. С. 7—9.
5. Шеина С.Г., Миненко А.Н. Разработка оптимизационной модели управления устойчивым энергосбережением зданий // Жилищное строительство. 2014. № 8. С. 3—5.
6. Пономарев В.Б. Совершенствование технологии производства и повышения качества теплоизоляционных и композиционных материалов на основе стеклянного и минерального волокна // Эффективные тепло- и звукоизоляционные материалы в современном строительстве и ЖКХ : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (8—10 ноября 2006 г.). М. : МГСУ, 2006. С. 109—118.
7. Olesen B.W. Indoor environmental input parameters for design and assessment of Energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics / Information paper on EN 15251 // Energy Performance of Buildings GENISE. 15.02.2010. Pp. 1—7.
8. Bobrov Ju.L. Új, közetgyapotból készű lthöszigetelő anyagok a modern építkezésben Budapesti Műszaki Egyetem (fordításoroszról, áttekintő információ. harmadik, kiadás, a Szovjetunióállami Építési Bizottsága Tájékoztató Intézete, M., 1981). Budapest : 1984. Pp. 45—49.
9. Zhukov A.D., Bobrova Ye.Yu., Zelenshchikov D.B., Mustafaev R.M., Khimich A.O. Insulation systems and green sustainable construction // Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering. 2014. Vol. 1025—1026. Pp. 1031—1034.

10. Holden T., Schmidt R.A. Commerce at light speed — an international comparative evaluation of CALS strategy and implementation in the USA and Japan // *Industrial Management & Data Systems*. 2001. Vol. 101. No. 1. Pp. 32—40.
11. Zhukov A.D., Smirnova T.V., Zelenshchikov D.B., Khimich A.O. Thermal treatment of the mineral wool mat // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 838—841. Pp. 196—200.
12. Бессонов И.В., Старостин А.В., Оськина В.М. О формостабильности стекловолокнистого утеплителя // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. Т. 2. С. 134—139.
13. Arquís E., Cicasu C. Convection phenomenon in mineral wool installed on vertical walls // *Эффективные тепло- и звукоизоляционные материалы в современном строительстве и ЖКХ* : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (8—10 ноября 2010 г.). М. : МГСУ, 2006. С. 18—21.
14. Опарина Л.А. Учет энергоемкости строительных материалов на разных стадиях жизненного цикла зданий // *Строительные материалы*. 2014. № 11. С. 44—46.
15. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Ковылянский Я.А. Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей. Современные материалы и технические решения // *Энергосбережение*. 2002. № 5. С. 43—45.
16. Лаврова Н.М., Платов Н.А. Проблемы экологической безопасности предприятий строительной индустрии // *Вестник МГСУ*. 2011. № 5. С. 204—207.
17. Эйдукавичюс К.К. Увеличение прочности минераловатных изделий путем заданной ориентации их волокон // *Строительные материалы*. 1984. № 6. С. 6—8.
18. Овчаренко Е.Г. Тенденции в развитии производства утеплителей в России. М. : Теплопроект, 2006. 74 с.
19. Hall C.A. Introduction to special issue on new studies in EROI // *Energy Return on Investment. Sustainability* 2011. Vol. 3. No. 10. Pp. 1773—1777. Режим доступа: www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773/ Дата обращения: 28.09.2014.
20. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Sapelin A.N., Naumova N.V., Chkunin A.S. Composite wall materiali // *Italian Science Review*. February 2014. Vol. 2. No. 11. Pp. 155—157.

Поступала в редакцию в феврале 2015 г.

Об авторах: Жуков Алексей Дмитриевич — кандидат технических наук, профессор кафедры технологии композиционных материалов и прикладной химии, Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, lj211@yandex.ru;

Иванов Казбек Казбекович — студент Института строительства и архитектуры, Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, petrel@bk.ru;

Аристов Денис Иванович — студент Института строительства и архитектуры, Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, den93adi@mail.ru;

Скиба Алексей Андреевич — студент Института строительства и архитектуры, Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, duran030693@gmail.com;

Сазонова Юлия Владимировна — студент Института строительства и архитектуры, Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, iu.sazonowa@yandex.ru.

Для цитирования: Жуков А.Д., Иванов К.К., Аристов Д.И., Скиба А.А., Сазонова Ю.В. Гидравлическое сопротивление минераловатного ковра цилиндрической формы // *Вестник МГСУ*. 2015. № 4. С. 96—103.

A.D. Zhukov, K.K. Ivanov, D.I. Aristov, A.A. Skiba, Yu.V. Sazonova

HYDRAULIC RESISTANCE OF CARPET OF CYLINDRICAL SHAPE MINERAL WOOL

The properties of the mineral wool mat are determined by the mode of heat treatment and properties of the products. The main parameter to assess the properties of highly porous fibrous material is its resistance to the air flow, which can be estimated by the value of the hydraulic resistance. This parameter includes both the characteristics of the mineral fiber (diameter, length, density) characteristics of the system as a whole (total porosity, average density, the content of fibrous inclusions) and gas environment parameters (temperature and speed of its motion through the porous layer).

Characteristics of the gaseous medium are technological factors, which influence the material during the heat treatment, and hence optimization of the process parameters. The flow of gas through the perforated wall of the hole determined by characteristics, pressurized inside a rolling pin, and the structural characteristics of the mineral geometrical cylinder and his hydraulic resistance. So, a universal criterion, which measures the mass transfer efficiency and hence the effectiveness of the heat treatment, is a hydraulic resistance cylinder. The study of the processes occurring in the mineral wool carpet, showed that its hydraulic resistance is directly proportional to the surface of fibers per unit bed volume and inversely proportional to the third degree of porosity of the layer. Researches have shown that increasing the degree of perforation increases the uneven distribution. However, if total power increases 1.87 times, because the perforation through the inlet portion perforation of rolling pin was disclosure, substantially uniform distribution was achieved.

The investigations led to the following conclusions: the specific surface layer has a linear dependence on its average density; hydraulic resistance of the layer will be greater, when the amount of beads and fibers diameter is smaller. The obtained exact dependence allows calculating the hydraulic resistance to the flow of gas in the cylinder mineral wool. This allows taking into account the parameters of a rolling pin and the intensity of its expiration coolant, optimize its heat treatment parameters, as well as to assess patterns to filter of vapor during operation in the heating cylinder.

Key words: insulating material, porosity, thermal conductivity, mineral fibers, structural model, thermal treatment.

References

1. Livchak V.I. Realistichnyy podkhod k energosberezheniyu v sushchestvuyushchem zhilom fonde goroda [Realistic Approach to Energy Efficiency in the Existing Housing Stock of the City]. *Energosberezhenie* [Energy Efficiency]. 2002, no. 5, pp. 14—18. (In Russian)
2. Telichenko V.I. Ot ekologicheskogo i «zelenogo» stroitel'stva — k ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'stva [From Ecological and «Green» Building to Ecological Safety of Construction]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2011, no. 2, pp. 47—51. (In Russian)
3. Gagarin V.G. Teplozashchita i energeticheskaya effektivnost' v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP «Teplovaya zashchita zdaniy» [Thermal Protection and Energy Efficiency in Updated Version of SNiP "Thermal Protection of Buildings"]. *Energoeffektivnost'. XXI vek : IV Mezhdunarodnyy kongress* [Energy Efficiency. 21st Century : the 4th International Congress]. Saint Petersburg. 2011, pp. 187—191. (In Russian)
4. Shmelev S.E. Puti vybora optimal'nogo nabora energosberegayushchikh meropriyatiy [Ways of Choosing Optimal Energy Saving Measures]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013, no. 3, pp. 7—9. (In Russian)
5. Sheina S.G., Minenko A.N. Razrabotka optimizatsionnoy modeli upravleniya us-toychivym energosberezheniem zdaniy [Development of an Optimized Control Model of Sustainable Energy Saving of Buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014, no. 8, pp. 3—5. (In Russian)
6. Ponomarev V.B. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva i povysheniya kachestva teploizolyatsionnykh i kompozitsionnykh materialov na osnove steklyannogo i

mineral'nogo volokna [Improvement of Production Technology and the Quality of Thermal Insulation and Composite Materials Based on Glass and Mineral Fibers]. *Effektivnye teplo- i zvukoizolyatsionnye materialy v sovremennom stroitel'stve i ZhKKh : sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (8—10 noyabrya 2006 g.)* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Effective Heat and Sound Insulating Materials in Modern Construction and Housing" (November 8—10, 2006)]. Moscow, MGSU Publ., 2006, pp. 109—118. (In Russian)

7. Olesen B.W. Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics. Information paper on EN 15251. Energy Performance of Buildings GENSE. 15.02.2010, pp. 1—7.

8. Bobrov Ju.L. Uj, közetgyapotból készű lthöszigetelő anyagok a modern építkezésben Budapesti Műszaki Egyetem (fordításoroszról, áttekintő információ. harmadik, kiadás, a Szovjetunióállami Építési Bizottsága Tájékoztató Intézete, M., 1981). Budapest, 1984, pp. 45—49.

9. Zhukov A.D., Bobrova Ye.Yu., Zelenshchikov D.B., Mustafaev R.M., Khimich A.O. Insulation Systems and Green Sustainable Construction. Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering. 2014, vol. 1025—1026, pp. 1031—1034.

10. Holden T., Schmidt R.A. Commerce at Light Speed — an International Comparative Evaluation of CALS Strategy and Implementation in the USA and Japan. Industrial Management & Data Systems. 2001, vol. 101, no. 1, pp. 32—40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02635570110366014>.

11. Zhukov A.D., Smirnova T.V., Zelenshchikov D.B., Khimich A.O. Thermal Treatment of the Mineral Wool Mat. Advanced Materials Research. 2014, vol. 838—841, pp. 196—200. DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.196>.

12. Bessonov I.V., Starostin A.V., Os'kina V.M. O formostabil'nosti steklovoloknistogo uteplitelya [On Dimensionally Stability of Fibrous Insulation]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 3, vol. 2, pp. 134—139. (In Russian)

13. Arquis E., Cicasu S. Convection Phenomenon in Mineral Wool Installed on Vertical Walls. *Effektivnye teplo- i zvukoizolyatsionnye materialy v sovremennom stroitel'stve i ZhKKh : sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (8—10 noyabrya 2010 g.)* [Efficient Heat and Sound Insulating Materials in Modern Construction and Housing and Public Utilities]. Moscow, MGSU Publ., 2006, pp. 18—21.

14. Oparina L.A. Uchet energoemkosti stroitel'nykh materialov na raznykh stadiyakh zhiznennogo tsikla zdaniy [Account for Power Consumption of Building Materials at Different Stages of Life Cycle of Buildings]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014, no. 11, pp. 44—46. (In Russian)

15. Shoykhet B.M., Stavritskaya L.V., Kovylyanskiy Ya.A. Teplovaya izolyatsiya truboprovodov teplovykh setey. Sovremennyye materialy i tekhnicheskies resheniya [Thermal Insulation of Heat Pipelines. Modern Materials and Technical Solutions]. *Energoberezhenie* [Energy Efficiency]. 2002, no. 5, pp. 43—45. (In Russian)

16. Lavrova N.M., Platov N.A. Problemy ekologicheskoy bezopasnosti predpriyatiy stroitel'noy industrii [Problems of Ecological Safety of the Enterprises of the Construction Industry]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 5, pp. 204—207. (In Russian)

17. Eydukyavichyus K.K. Uvelichenie prochnosti mineralovatnykh izdeliy putem zadannoy orientatsii ikh volokna [Increasing the Strength of Mineral Wool Products by a Given Orientation of Their Fibers]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 1984, no. 6, pp. 6—8. (In Russian)

18. Ovcharenko E.G. *Tendentsii v razvitii proizvodstva utepliteley v Rossii* [Trends in the Production of Insulation Materials in Russia]. Moscow, Teploproekt Publ., 2006, 74 p. (In Russian)

19. Hall C.A. Introduction to Special Issue on New Studies in EROI. Energy Return on Investment. Sustainability 2011, vol. 3, no. 10, pp. 1773—1777. Available at: www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773/. Date of access: 28.09.2014.

20. Zhukov A.D., Bessonov I.V., Sapelin A.N., Naumova N.V., Chkunin A.S. Composite wall materiali. Italian Science Review. February 2014, vol. 2, no. 11, pp. 155—157.

About the authors: **Zhukov Aleksey Dmitrievich** — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Composite Materials Technology and Applied Chemistry, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; lj211@yandex.ru;

Ivanov Kazbek Kazbekovich — student, Institute of Construction and Architecture, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Petrel@bk.ru;

Aristov Denis Ivanovich — student, Institute of Construction and Architecture, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; den93adi@mail.ru;

Skiba Aleksey Andreevich — student, Institute of Construction and Architecture, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; duran030693@gmail.com;

Sazonova Yuliya Vladimirovna — student, Institute of Construction and Architecture, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; iu.sazonowa@yandex.ru.

For citation: Zhukov A.D., Ivanov K.K., Aristov D.I., Skiba A.A., Sazonova Yu.V. Gidravlichesкое soprotivlenie mineralovatnogo kovra tsilindricheskoy formy [Hydraulic Resistance of Carper of Cylindrical Shape Mineral Wool]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 4, pp. 96—103. (In Russian)