

В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ¹, М.Ю. ЗАВАДЬКО¹¹ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕНОКЕРАМИКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Аннотация. В работе отмечается актуальность разработки гипсовых материалов, модифицированных пенокерамическими гранулами. Обзор литературы показал, что на данный момент пенокерамика применяется преимущественно в бетонах и смесях на основе цемента. Ближайший аналог пенокерамических гранул – пеностекло, уже широко используется в производстве штукатурных смесей и стяжек на гипсовой основе, поэтому авторы не видят препятствий для применения и пенокерамики в их составе. Такой подход мог бы позволить сократить расходы на производство и сырье, ввиду того, что пенокерамика требует более низких температур при пучении и производится преимущественно из отходов горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: пенокерамика, пенокерамические микросферы, гипсовое вяжущее, плотность.

V.B. PETROPAVLOVSKAYA¹, M.Y. ZAVADKO¹¹Federal state budgetary educational institution of higher education "Tver state technical University", Tver, Russia

PROSPECTS FOR THE USE OF WASTE-BASED FOAM CERAMICS IN THE MODIFICATION OF GYPSUM BINDER

Abstract. The paper notes the relevance of the development of gypsum materials modified with foam-ceramic granules. A review of the literature has shown that currently foam ceramics are used mainly in concrete and cement-based mixtures. The closest analog of foam-ceramic granules is foam glass, which is already widely used in the production of plaster mixes and gypsum-based screeds, so the authors do not see any obstacles to the use of foam-ceramic in their composition. Such an approach could reduce production and raw material costs, since foam ceramics require lower temperatures when they are heated and are produced primarily from mining waste.

Keywords: foam ceramics, foam microspheres, gypsum binder, density.

1 Введение

Предметом данного исследования являлась разработка гипсового композита, модифицированного пенокерамическими микросферами, применение которых в последнее время значительно возросло не только в секторе автомобильной промышленности, но и в секторе производства строительных материалов. Повышенное внимание к ним, безусловно, вызвано не только положительным влиянием на характеристики получаемых с их применением материалов, но и их экологической безопасностью, гигиеничностью, стойкостью к влаге и агрессивным средам и, что немаловажно, большой сырьевой базой для их производства [1-5]. Процесс производства пенокерамики, как и пеностекла, заключается в сушке сырья, очистке от грязи, измельчении, прогревании совместно со вспенивателями во вращающихся печах. Значительно сократить себестоимость получаемого таким образом продукта позволяет преимущественное использование в составе отходов. Например, производители пеностекла предпочитают использовать в качестве сырьевого источника – отходы в виде стеклобоя [1, 2, 3, 6].

Теплоизоляция и шумоизоляция стен и перекрытий в многоэтажных зданиях сейчас, как никогда, является актуальной темой, а стеклянные и керамические гранулы, как наиболее передовые материалы, начинают вытеснять менее эффективные в этой сфере, такие как минеральная вата и керамзит [4]. Многими авторами на данный момент уже разработаны не

просто стеновые материалы с повышенными показателями по теплоизоляции с применением пеностекла, а также и такие материалы, в составе которых используется пеностекло, полученное исключительно из отходов стеклянного боя [5].

Авторы работы [7] рассматривают экономическую эффективность применения в составе пеностекла силикатосодержащих добавок – отходов горнодобывающей промышленности вместо песка. В качестве такой добавки может использоваться диатомит – осадочная горная порода высокой пористости. Введение диатомита позволяет также снизить температуру плавления сырья. Таким образом экономический эффект в этом случае будет обусловлен снижением энергозатрат на производство.

Многие работы посвящены исследованию влияния пеностекла и пенокерамики на свойства бетонов [8-10]. Например, И. Л. Чулковой с соавторами был разработан и представлен в работе [8] пенокерамобетон – бетон с гранулированной керамикой в его составе. Такое решение позволило исследователям получить экологически чистый, тепло- и шумоизоляционный конструкционный материал. Кроме того, авторами был отмечен ряд закономерностей: прочность получаемого материала находится в прямой зависимости от размера гранул (чем меньше размер самих гранул, тем больше прочность бетона), прочность пенобетона ниже прочности пенокерамобетона в среднем в 2 раза (при условии их одинаковой плотности). Последнее связано, прежде всего, с тем, что физико-механические показатели бетонов тесно связаны с характером взаимодействия цементного камня и заполнителя, срастания контактов между ними [11]. Пеностекло, вступая в контакт с цементным тестом, образует гелеобразную фазу, значительно упрочняющую зону контакта между ними.

Также, в работе [9] представлены исследования химической активности пенокерамики по отношению к щелочам в цементе, где авторы, как и в предыдущей работе, приводят данные об особенностях взаимодействия жидкой фазы твердеющего цемента при контакте с пенокерамикой, однако отмечают также и факт капсулирования поверхности керамики Са-, Na-алюмосиликатами, и скорейшее его прекращения.

В 2018 году компания «Фаворит» по производству сухих строительных смесей выпустила серию стяжек с пенокерамическим наполнителем «Кервуд», а также штукатурную смесь «Теплолюкс» на цементном вяжущем. Положительный опыт производства, а также вышеперечисленные результаты исследований позволяют говорить о доказанной эффективности применения таких микросфер в бетонах и смесях на цементной основе [12].

Известно, что механизмы воздействия пенокерамики не одинаковы для всех видов вяжущего. Менее изученной на данный момент остается тема применения пенокерамики в гипсовых материалах, хотя она и является актуальной. О чем можно судить по широкому использованию гипсового вяжущего в производстве отделочных материалов. Вопросы тепло- и шумоизоляции для таких систем имеют не последнее значение. Авторами работ [13-16] отмечаются такие преимущества полых микросфер, как легкость и белый цвет – что делает их привлекательными для разработки реставрационных составов. Е.В. Ткач с соавторами отмечают, что полые стеклянные микросферы совместно с добавками пластификатора и редиспергируемого полимерного порошка позволяют добиться снижения плотности за счет изменения в структуре кристаллов гипса и еще при этом повысить прочность получаемого модифицированного гипсового камня.

Таким образом, применение пеностекла изучено как в бетонах [1-7], так и в гипсовых строительных смесях [13-17]. Представлены также разработки в области применения пенокерамики в бетонах и смесях на цементном вяжущем [8-11]. Стоит отметить, что возможность применения пенокерамики в составе гипсового вяжущего недостаточно освещена на данный момент, технология не реализована в реальном производстве. Однако именно такой поход мог бы позволить добиться значительной экономии ресурсов при одновременном повышении свойств получаемого материала – прочности и легкости. Поэтому целью данной работы являлось исследование влияния гранулированной пенокерамики на свойства высокопрочной гипсовой композиции.

2 Модели и методы

В качестве основного компонента в исследованиях применялось гипсовое вяжущее α -модификации марки Г-16, которое характеризовалось по ГОСТ 125 – 2018 следующими показателями: пределом прочности при сжатии – 16 МПа, пределом прочности при изгибе – 6 МПа, началом схватывания не ранее 4,5 мин, концом схватывания – не позднее 20 мин, остатком на сите 0,2 мм – не более 1 %.

В качестве добавки в композит вводили гранулированную пенокерамику (рисунок 1), представляющую собой микросферы диаметром 0,1 - 0,3 мм с пористой структурой внутри и плотной оболочкой снаружи. Плотность микросфер составляла 160-250 кг/м³. Теплопроводность гранул, по данным производителя, находилась в пределах 0,05-0,09 Вт/м·К, предел прочности микросфер при сжатии в цилиндре – 0,6-12 МПа, а водопоглощение 4-7 % по массе. Химический состав добавки представлен ниже, в таблице 1.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета.

Для исследования свойств гипсового камня, модифицированного гранулированной пенокерамикой, был проведен двухфакторный эксперимент, в котором в качестве варьируемых параметров были приняты: количество содержания гранул (в диапазоне от 0 до 12 %, с шагом 6 %) и водогипсовое отношение (от 0,34 до 0,38 с шагом 0,02).

Таблица 1 – Химический состав пенокерамических гранул

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	Остальные
%	69,8	8,1	14,5	3,9	1,1	2,7



Рисунок 1 – Пенокерамические гранулы



Рисунок 2 – Образец после испытания на сжатие

Для получения готовой сырьевой смеси необходимые массы гипсового вяжущего и пенокерамических гранул предварительно отмерялись и перемешивались в течение 20 секунд ручной мешалкой в сухом состоянии, далее, полученная таким образом смесь, засыпалась в чашу с дистиллированной водой и интенсивно перемешивалась в течение 60 с до получения однородного теста, которым затем заливалась заранее подготовленная форма. Через (15 ± 5) мин после конца схватывания образцы извлекались из формы и маркировались. Гипсовый камень испытывался на прочность на гидравлическом прессе (машине испытательной на сжатие) (рисунок 2) в соответствии с требованиями ГОСТ 23789-2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». В течение 7 суток перед этим образцы выдерживались в стандартных условиях.

3 Результаты исследования и их анализ

Анализ полученных результатов показал, что введение в состав гипсового вяжущего пенокерамических гранул позволяет снизить плотность получаемого камня в среднем на 10 % (рисунок 3), при этом повысить прочность в среднем на 12 % (рисунок 4). Влияние водотвердого отношения на прочность материала незначительно.

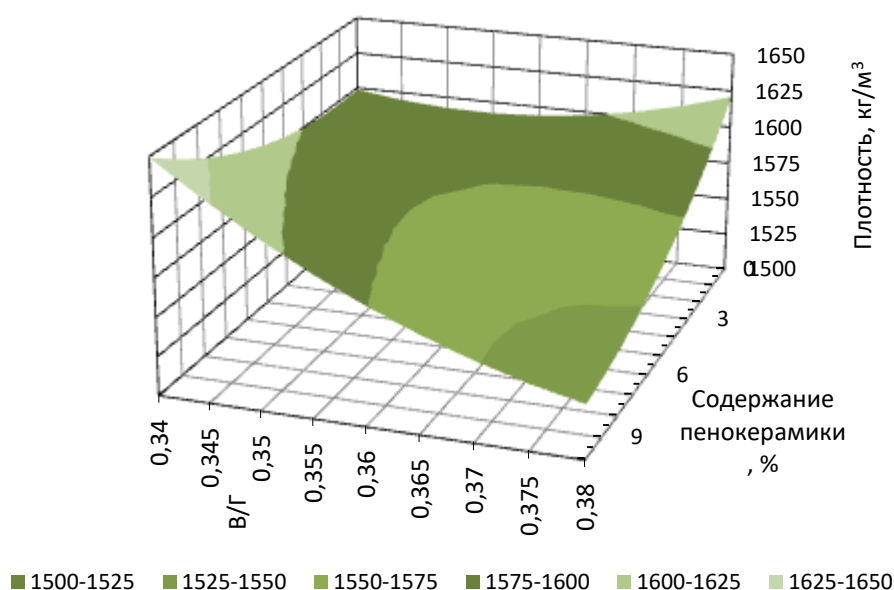


Рисунок 3 – Влияние добавки пенокерамических гранул на плотность гипсового композита

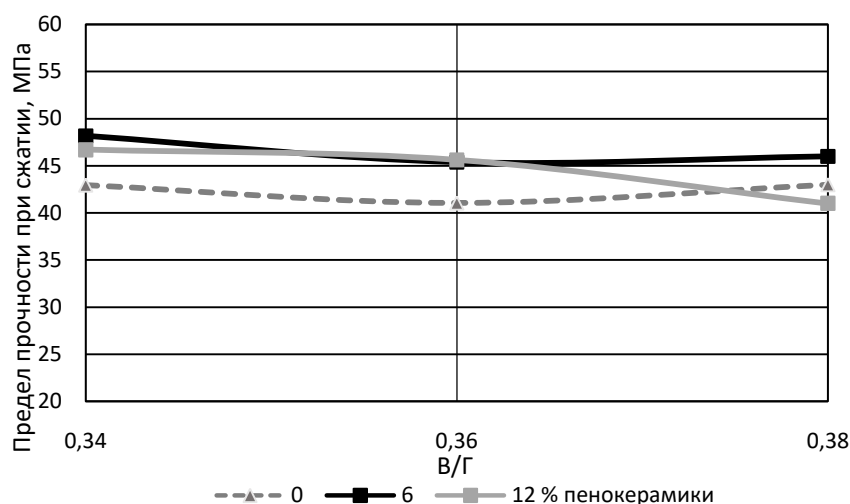


Рисунок 4 – Влияние водопотребности на прочность гипсового композита

Средняя плотность с увеличением содержания добавки снижается при повышении водотвердого отношения. Минимальная плотность составляет 1530 кг/м³ при В/Т = 0,38, прочность композита при этом снизилась до 41 МПа.

4 Выводы

1. Применение в составе гипсовых вяжущих добавки пенокерамики, ее влияние на свойства и структуру получаемого камня недостаточно изучено на данный момент и представляет большой интерес;
2. Введение в состав гипсового вяжущего пенокерамических гранул диаметром 0,1 - 0,3 мм в количестве 12 % от массы гипсового вяжущего позволяет снизить пористость получаемого камня без потери прочности на 10 %;
3. Целесообразно исследовать диапазон изменения содержания пеногранул, превышающий значение 12 %, совместно с введением пластифицирующих добавок в целях улучшения структуры гипсовой матрицы и повышения физико-механических свойств гипсового композита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вареник К.А., Вареник А.С. Пироженко П.В. Пеностекло - строительный материал из стеклянного боя и промышленных отходов // Научное обозрение. 2017. № 19. С. 18-21.
2. Сапачева Л.В., Горегляд С.Ю. Пеностекло для экологичного строительства в России // Строительные материалы. 2015. № 1. С. 30-31.
3. Белова В.Ю. Применение пеностекла в строительстве // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Министерство образования и науки Российской Федерации; Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). 2017. С. 88-91.
4. Анощенко Н.П., Грехов П.И. Пеностекло - эффективный теплоизоляционный материал в строительстве // Проблемы и перспективы развития инженерно-строительной науки и образования Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией С.Ф. Сухановой. 2018. С. 52-55.
5. Кетов П.А. Разработка экологически безопасного энергоэффективного строительного ячеистого материала, соответствующего принципам зеленого строительства // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 3 (114). С. 368-377.
6. Кудрявцев П.Г. Свойства пористых термостойких композиционных материалов. Часть 2 // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2020. Т. 12. № 1. С. 15-20.
7. Мизюряев С.А., Жигулина А.Ю., Ганечкина К.В. Перспективные теплоизоляционные материалы для повышения эффективности изоляции ограждающих конструкций // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии сборник статей. Самарский государственный технический университет. Самара, 2017. С. 111-114.
8. Чулкова И.Л., Кадцын Р.А., Кадцына А.Р. Пеностекло и пенокерамика как заполнители для ячеистых бетонов // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. 2019. С. 469-472.
9. Серова Р.Ф., Хаев Т.Э., Ткач Е.В. Изучение свойств гипсовых систем с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 80-85.
10. Береговой В.А., Королев Е.В., Прошина Н.А., Береговой А.М. Методика подбора и обоснование компонентного состава сырьевых смесей для изготовления теплоизоляционных пенокерамобетонов // Строительные материалы. 2011. № 6. С. 66-69.
11. Kukina O.B., Zolotukhin S.N., Byndyukova E.A. Design and construction of a low-rise residential building on a landslide slope // IOP Conf. Series: MSE. 2020. Vol. 753. 042016. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042016
12. Козлов А.В., Балахонкина С.Ю. Сухие строительные смеси "теплой" серии компании "фаворит" на основе легкого пористого наполнителя пенокерамики kerwood // Сухие строительные смеси. 2018. № 1. С. 8-9.
13. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Научно-технические предпосылки разработки облегченных гипсовых систем с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // Научное обозрение. 2017. № 7. С. 28-31.
14. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Модифицированный облегченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // Строительные материалы. 2017. № 10. С. 45-50.
15. Ибраимбаева Г.Б., Байсариева А.М., Шойбекова А.М., Оразимбетова М.Б. Строительные блоки из пенокерамики // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2019. № 9-10 (248-249). С. 16-18.
16. Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф., Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б. Облегченные самоармированные гипсовые композиты // Строительные материалы. 2019. № 10. С. 40-45.
17. Petropavlovskaya V., Buryanov A., Novichencova T., Petropavlovskii K. Gypsum composites reinforcement // IOP Conf. Series: MSE. 2018. Vol. 365. 032060. DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032060

REFERENCES

1. Varenik K.A., Varenik A.S. Pirozhenko P.V. Penosteklo - stroitel'nyj material iz stek-lyannogo boya i promyshlennyh othodov [Foam glass - building material from glass combat and industrial waste]. *Nauchnoe obozrenie*. 2017. No 19. Pp. 18-21. (rus)
2. Sapacheva L.V., Goreglyad S.YU. Penosteklo dlya ekologichnogo stroitel'stva v Rossii [Foam glass for green building in Russia]. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No 1. Pp. 30-31. (rus)
3. Belova V.Yu. Primenenie penostekla v stroitel'stve [The use of foam glass in construction]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya molodyh uchyonih* [Fundamental and applied research of young scientists] Proc.Int. Scientific and practical Conf. Siberian State Automobile and Road University (SibADI). 2017. Pp. 88-91
4. Anoshchenko N.P., Grekhov P.I. Penosteklo - effektivnyj teploizolyacionnyj material v stroitel'stve [Foam glass is an effective heat-insulating material in construction]. II Allrussian scientific and practical Conf. "Problemy i perspektivy razvitiya inzhenerno-stroitel'noj nauki i obrazovaniya" under ed. S.F. Suhanova. 2018. Pp. 52-55. (rus)
5. Ketov P.A. Razrabotka ekologicheski bezopasnogo energoeffektivnogo stroitel'nogo yacheistogo materiala, sootvetstvuyushchego principam zelenogo stroitel'stva [Development of environmentally friendly energy-efficient building cellular material that complies with the principles of green construction]. *Vestnik MGSU*. 2018. T. 13. No 3 (114). Pp. 368-377. (rus)

6. Kudryavcev P.G. Svojstva poristyh termostojkih kompozicionnyh materialov. CHast' 2 [Properties of porous heat-resistant composite materials. Part 2]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyj internet-zhurnal*. 2020. T. 12. No 1. Pp. 15-20. (rus)
7. Misyuryayev S.A., Zhigulina A.YU., Ganechkina K.V. Perspektivnyye teploizolyatsionnyye materialy dlya povysheniya effektivnosti izolyatsii ograzhdayushchikh konstruksiy [Promising heat-insulating materials to improve the insulation efficiency of building envelopes]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nyye tekhnologii* [Traditions and innovations in construction and architecture. Building Technologies]. Samara: Samara State Technical Univ., 2017. Pp. 111-114.
8. Chulkova I.L., Kadcyn R.A., Kadcyna A.R. Penosteklo i penokeramika kak zapolniteli dlya yachei-styh betonov [Foam glass and ceramic foam as aggregates for cellular concrete]. IV Int. Sci. and Practic. Conf. "Arhitekturno-stroitel'nyj i dorozhno-transportnyj kompleksy: problemy, perspektivy, innovacii". 2019. Pp. 469-472. (rus)
9. Serova R.F., Haev T.E., Tkach E.V. Izuchenie svojstv gipsovyh sistem s polymi steklyannymi mik-rosferami dlya restavracionnyh rabot [Studying the properties of gypsum systems with hollow glass micro-spheres for restoration work]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017. No 6. Pp. 80-85. (rus)
10. Beregovoj V.A., Korolev E.V., Proshina N.A., Beregovoj A.M. Metodika podbora i obosnovanie komponentnogo sostava syr'evykh smesey dlya izgotovleniya teploizolyacionnyh penokeramobetonov [The selection methodology and justification of the component composition of raw mixes for the manufacture of heat-insulating foam concrete]. *Stroitel'nye materialy*. 2011. № 6. Pp. 66-69. (rus)
11. Kukina O.B., Zolotukhin S.N., Byndyukova E.A. Design and construction of a low-rise residential building on a landslide slope. *IOP Conf. Series: MSE*. 2020. Vol. 753. 042016. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042016
- 12.
13. Kozlov A.V., Balahonkina S.YU. Suhie stroitel'nye smesi "Teploj" serii kompanii "Favorit" na osnove legkogo poristogo napolnitelya penokeramiki kerwood [Dry building mixes of the "warm" favorite company based on the lightweight porous filler of ceramic foam kerwood]. *Suhie stroitel'nye smesi*. 2018. No 1. Pp. 8-9. (rus)
14. Haev T.E., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Nauchno-tekhnicheskie predposylki razrabotki oblegchennykh gipsovyh sistem s polymi steklyannymi mikrosferami dlya restavracionnyh rabot [Scientific and technical prerequisites for the development of lightweight gypsum systems with hollow glass microspheres for restoration work]. *Nauchnoe obozrenie*. 2017. № 7. Pp. 28-31. (rus)
15. Haev T.E., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Modificirovannyj oblegchennyj gipsovyj material s po-lymi steklyannymi mikrosferami dlya restavracionnyh rabot [Modified lightweight gypsum material with hollow glass microspheres for restoration works]. *Stroitel'nye materialy*. 2017. № 10. Pp. 45-50. (rus)
16. Ibraimbaeva G.B., Bajsarieva A.M., Shojbekova A.M., Orazimbetova M.B. Stroitel'nye bloki iz penokeramiki [Building blocks made of foam ceramics]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2019. № 9-10 (248-249). Pp. 16-18. (rus)
17. Petropavlovskij K.S., Bur'yanov A.F., Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B. Oblegchennyye samoarmirovannyye gipsovyje kompozity [Lightweight self-reinforced gypsum composites]. *Stroitel'nye materialy*. 2019. № 10. Pp. 40-45. (rus)
18. Petropavlovskaya V., Buryanov A., Novichencova T., Petropavlovskii K. Gypsum composites reinforcement. *IOP Conf. Series: MSE*. 2018. Vol. 365. 032060. DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032060

Информация об авторах

Петропавловская Виктория Борисовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет», Россия, г. Тверь, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры ПСК.
E-mail: victoriapetrop@gmail.com

Завадько Мария Юрьевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет», Россия, г. Тверь, ассистент кафедры АДОФ.
E-mail: 79043517876@yandex.ru

Information about authors

Petropavlovskaya Viktoriya Borisovna

Federal state budgetary educational institution of higher education "Tver state technical University", Tver, Russia, candidate of technical sciences, professor of department of PSK.
E-mail: victoriapetrop@gmail.com

Zavadko Maria Yurievna

Federal state budgetary educational institution of higher education "Tver state technical University", Tver, Russia, assistant of department of ADOF.
E-mail: 79043517876@yandex.ru