

## Применение демпфирующей прокладки в качестве вспомогательного способа включения в работу железобетонной оболочки при устройстве ленточно-оболочечного фундамента

*М.А. Цыганкова*

*Тюменский индустриальный университет*

**Аннотация:** В статье описана известная конструкция ленточно-оболочечного фундамента. На основе анализа известной конструкции выведен ряд факторов, влияющих на ограничение области применения ленточно-оболочечного фундамента. С целью обеспечения контролируемого включения в работу железобетонной оболочки фундамента автором статьи предложено использование демпфирующей прокладки под ленточными опорными контурами. Прокладка, выполненная из легко сжимаемого плитного материала – пенополистирола – под воздействием нагрузки от стен и колонн подвальной части здания сжимается, арматура оболочки натягивается и вовлекает в работу грунт подоболочечной части фундамента. При этом прочностные характеристики ленточно-оболочечного фундамента возрастают, осадка снижается. Автором статьи проведены численные исследования по определению требуемой толщины прокладки. Доказано, что применение демпфирующей прокладки актуально при грунтах с модулем деформации менее 15 МПа, выше данного значения применение прокладки нецелесообразно.

**Ключевые слова:** ленточно-оболочечный фундамент, железобетонная оболочка, ленточный опорный контур, грунтовый целик, вспомогательный способ включения в работу оболочки, демпфирующая прокладка, толщина прокладки.

Ленточно-оболочечный фундамент (далее ЛОФ) – инновационная конструкция фундамента [1], представляющая собой систему взаимно пересеченных железобетонных опорных контуров, объединенных в пролетной части выпуклой вверх по отношению к грунту, железобетонной оболочкой (рис. 1). Исследования различных форм оболочек в составе сплошных фундаментов производились отечественными исследователями, такими, как Ванюшкин С. Г., Власов В. З., Тетиор А. Н. [2] и др. авторами, а также зарубежными авторами, например, Abdel-Rahman M. [3], Hong T., Teng J. G., Luo Y. F. [4] и др. В г. Тюмени и Тюменской области построено порядка 23 зданий с ленточно-оболочечными фундаментами. Опыт строительства ленточно-оболочечного фундамента на примере возведения ЛОФ под 17-ти этажный жилой дом в границах улиц Губернская -

Закалужская – Московский тракт в г. Тюмени представлен в [5, 6]. Под руководством д.т.н. профессора Пронозина Я. А. защищено 9 кандидатских диссертаций по исследованию взаимодействия оболочечных фундаментов с грунтовым основанием. Железобетонная оболочка выполняется по искусственному или естественному основанию (грунтовому целику), при этом высота подъема стрелы оболочки должна быть в пределах от  $1/5$  до  $1/12$  ширины оболочки, требования к расчету, проектированию и технологии ЛОФ изложены в СТО СРОП 001-2015. «Требования к проектированию и устройству ленточно-оболочечных фундаментов».

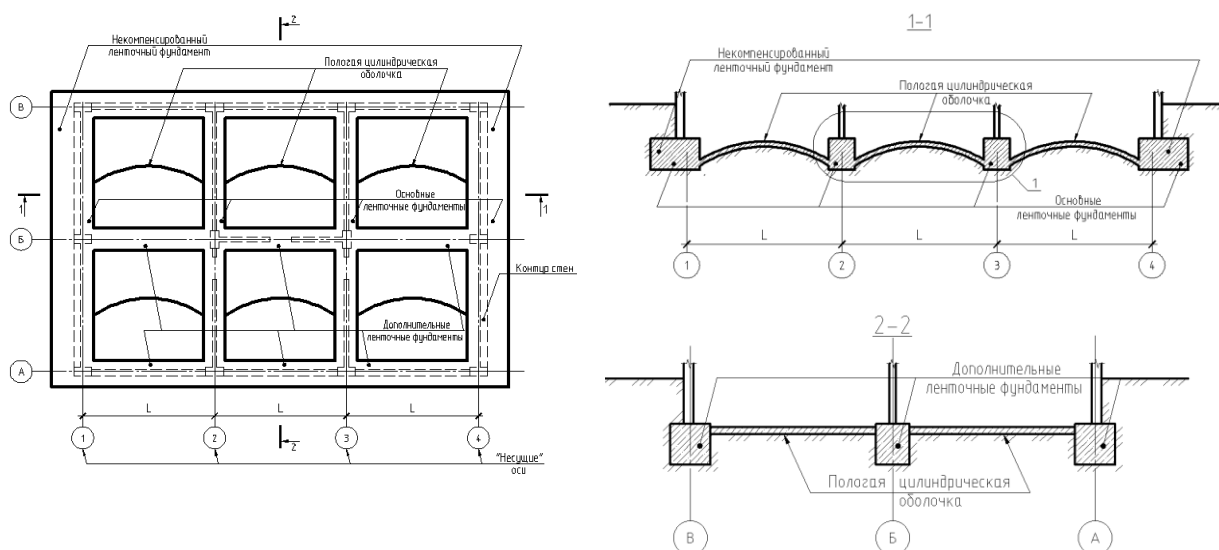


Рис. 1. – Конструктивный план и разрезы ЛОФ, согласно СТО СРОП 001-2015

Основная концепция ЛОФ заключается в том, что при осадке опорных контуров фундамента от воздействия выше приложенной нагрузки арматура железобетонной оболочки натягивается и тем самым обжимает грунт, находящийся под оболочкой в пролетной части фундамента, вовлекая его в работу (рис. 2). При этом прочностные и эксплуатационные характеристики фундамента повышаются, осадка фундамента снижается за счет предварительного напряжения грунта основания [7, 8].

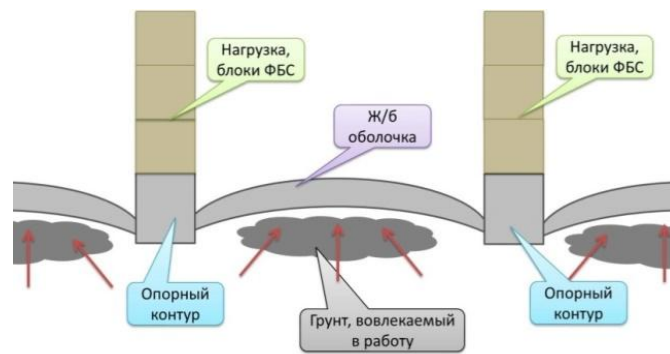


Рис. 2. – Схема работы ленточно-оболочечного фундамента

Сдерживающими факторами широкого распространения конструкции ленточно-оболочечного фундамента является отсутствие данных о динамике просадочных процессов грунтов [9], а также то обстоятельство, что не в полной мере используются прочностные характеристики подоболочечного массива грунта и сложность контроля включения в работу железобетонной оболочки.

В целях контролируемого включения железобетонной оболочки в работу и, как следствие, вовлечения в работу подоболочечного массива грунта автором статьи предложена гипотеза об использовании демпфирующей прокладки, обладающей прочностью на сжатие меньше прочности на сжатие грунта основания под опорными несущими контурами. В качестве материала демпфирующей прокладки предлагается использовать легкосжимаемый распространенный материал – пенополистирол. Прочностные и деформационные характеристики пенополистирола достаточно изучены в настоящее время [10], при этом назначение демпфирующих прокладок может быть различно [11]. Модуль деформации пенополистирола для реализации предложенного способа –  $E = 0,5$  МПа. Технологический прием по включению в работу железобетонной оболочки и, как следствие, пролетной части фундамента, заключается в том, что прочностные характеристики демпфирующей прокладки из пенополистирола позволяют выдерживать нагрузку от веса конструкции фундамента в

процессе его возведения. На первой стадии работы фундамента прокладка выдерживает приложенную нагрузку (рис. 3).

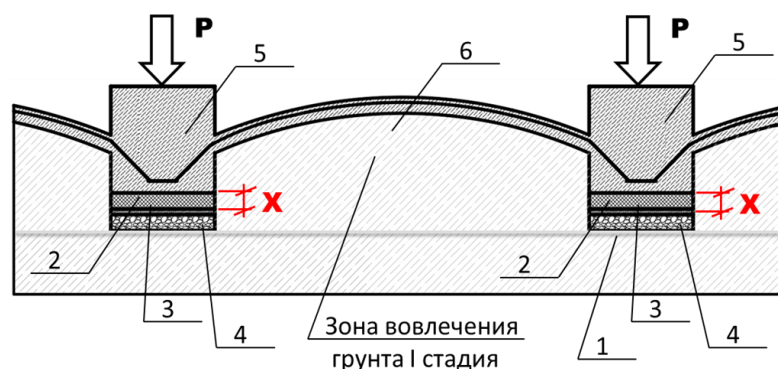


Рис. 3. – Этапы работы фундамента: I стадия, где 1 - грунтовое основание; 2 - прокладка из пенополистирола; 3 – бетонная подготовка; 4 – щебеночная подготовка; 5 - опорные железобетонные контуры; 6 – грунт подбололочной части до обжатия

На второй стадии, при приложении вышележащей нагрузки, например, от стен или колонн подвала, прокладка полностью сжимается, происходит контролируемая осадка фундамента на величину толщины прокладки (рис.4).

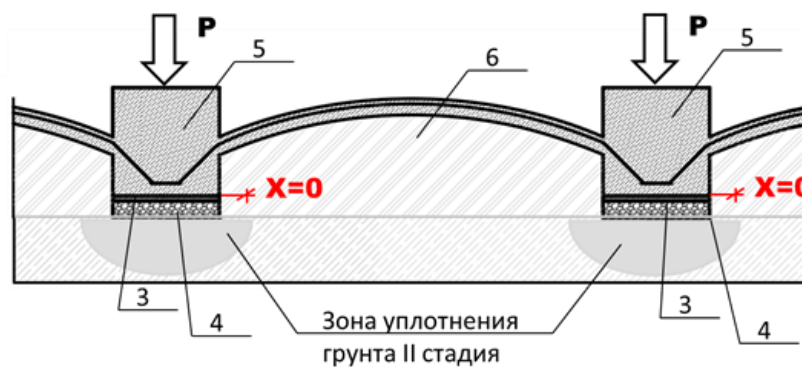


Рис. 4. – Этапы работы фундамента: II стадия, где 1 - грунтовое основание; 2 - прокладка из пенополистирола; 3 – бетонная подготовка; 4 – щебеночная подготовка; 5 - опорные железобетонные контуры; 6 – грунт подбололочной части после обжатия

При этом большое значение имеет правильное назначение толщины демпфирующей прокладки ( $x$ ). Толщина демпфирующей прокладки должна быть назначена, исходя из прочностных характеристик грунта подбололочного массива. А именно, толщина демпфирующей прокладки

должна быть соразмерна с величиной осадки грунта под оболочечной частью фундамента при воздействии вышерасположенной нагрузки.

В целях исследования толщины демпфирующей прокладки были произведены численные расчеты трех вариантов фундаментов, конструктивные разрезы которых представлены на рис. 5, обладающих следующими геометрическими параметрами: 1-й вариант – ширина пролетной части 3,0 м, ширина опорных контуров 0,6 м, высота опорных контуров 0,6 м; 2-й вариант – ширина пролетной части 4,5 м, ширина опорных контуров 0,9 м, высота опорных контуров 0,9 м; 3-й вариант – ширина пролетной части 6,0 м, ширина опорных контуров 1,2 м, высота опорных контуров 1,2 м. При этом модуль деформации грунта изменялся в пределах от 3,5 до 30 МПа, модуль деформации пенополистирола оставался неизменным для всех вариантов расчета – 0,5 МПа.

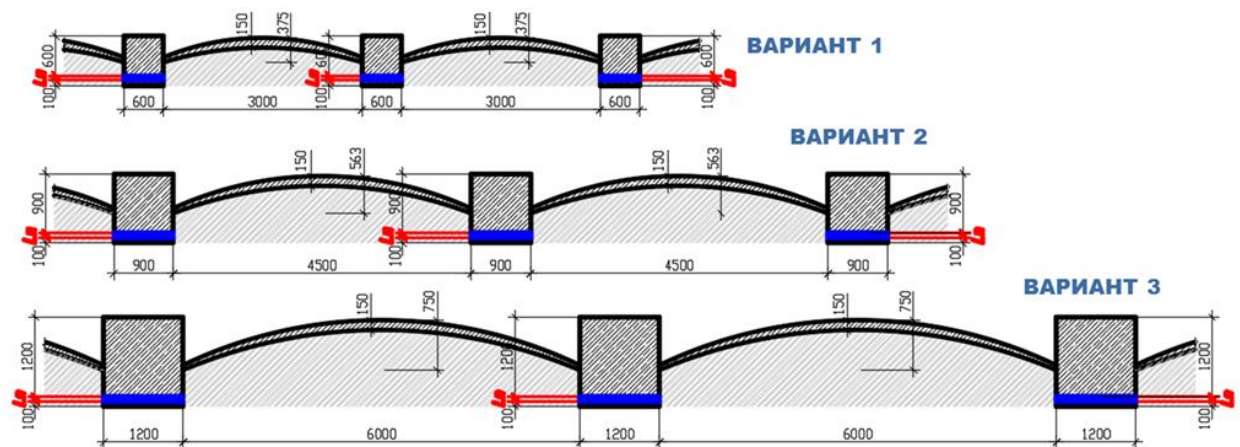


Рис. 5. – Варианты конструктивных разрезов ЛОФ

Расчет толщины прокладки производился, исходя из закона Гука  $\Delta l = Nl / EA$  для двух частей фундамента – опорного контура и пролетной части. При этом величина сжатия грунта пролетной части должна быть соразмерна с величиной осадки опорного контура, т.е. с толщиной демпфирующей прокладки. Такое условие необходимо для соблюдения контролируемой осадки фундамента при сжатии грунта в пролетной части, но так, чтобы не происходил «отрыв» оболочечной части фундамента от опорных контуров.

В результате произведенных расчетов для трех вариантов фундаментов с различными геометрическими параметрами были построены графики зависимости толщины прокладки, при этом модуль деформации грунта для всех вариантов изменялся в границах от 3,5 до 30 МПа с шагом 0,5 МПа (рис. 6-8).

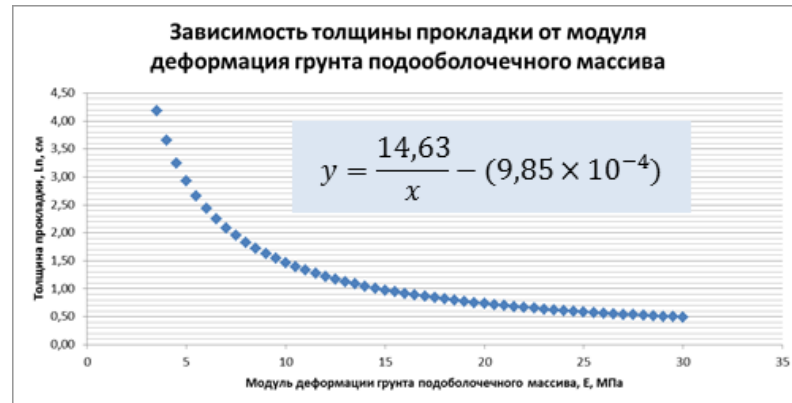


Рис. 6. – График зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подошвенного массива. 1-й вариант



Рис. 7. – График зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подошвенного массива. 2-й вариант

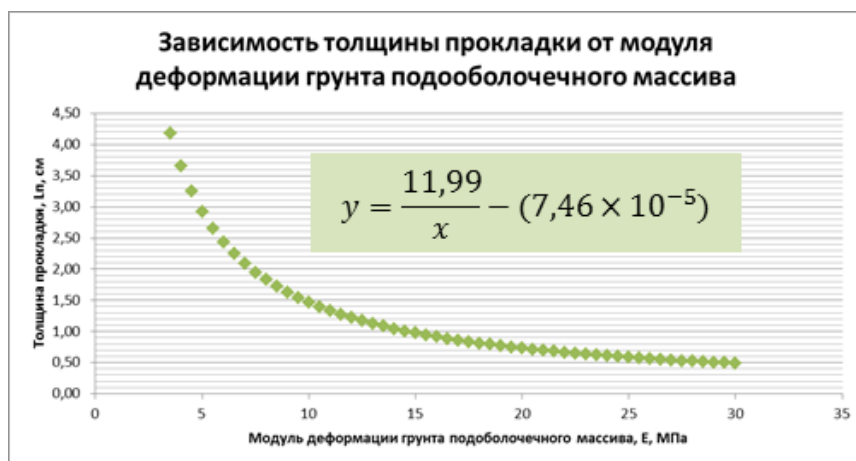


Рис. 8. – График зависимости толщины прокладки от модуля деформации грунта подошловочечного массива. 3-й вариант

Анализ графиков показал, что с увеличением модуля деформации грунтового основания, толщина прокладки уменьшается, что свидетельствует о том, что назначение демпфирующей прокладки актуально при сильносжимаемых грунтах. Чем больше пористость грунтового основания, тем выше прокладка. При грунтах с модулем деформации от 15 МПа и выше применение демпфирующей прокладки нецелесообразно.

Применение демпфирующей прокладки из пенополистирола приводит к увеличению затрат труда и продолжительности выполнения работ по сравнению с исходной технологией строительства фундаментов (рис. 9).

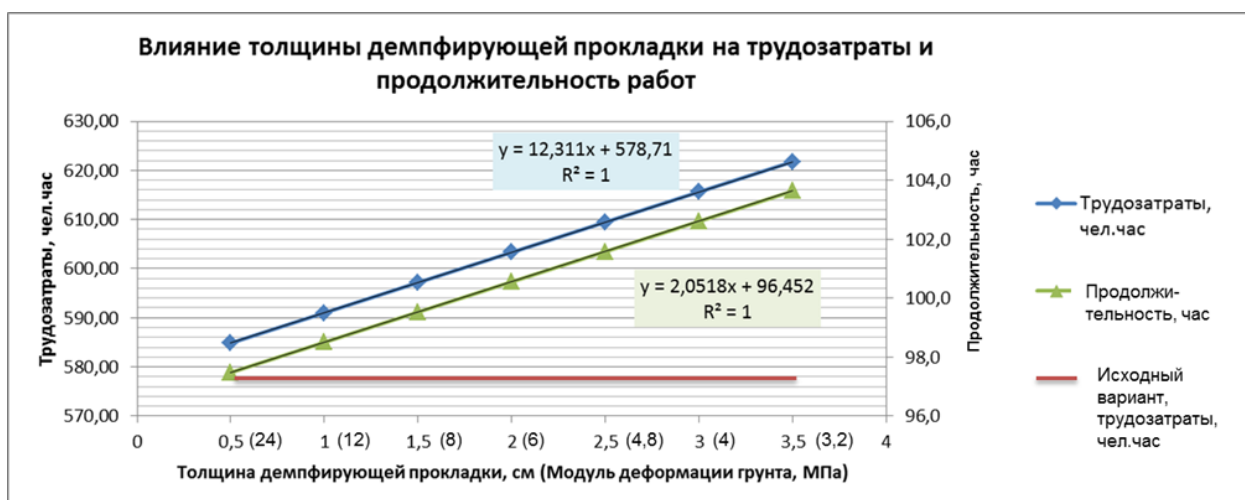


Рис. 9. – Влияние толщины демпфирующей прокладки на трудозатраты и продолжительность устройства ЛОФ

При этом увеличение трудоемкости на укладку пенополистирола составляет порядка 7-10% по сравнению с известной технологией устройства ЛОФ. Но, при указанном недостатке, производится контролируемая осадка опорных контуров на величину, равную осадке подбололочечной части фундамента, что позволяет в полной мере использовать прочностные характеристики грунта после переуплотнения и, в конечном счете, приводит к снижению общей осадки фундамента.

### Литература

1. Ашихмин О.В., Порошин О.С., Ванина Ю.В. Применение инновационных фундаментов в сложных гидрогеологических условиях г. Тюмени // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии - 2016 Сборник материалов международной научно-практической конференции: в трех томах. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», 2016. С. 24-28.
2. Тетиор А.Н. Совершенствование пространственных конструкций фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2012. № 2. С. 13-16.
3. Abdel-Rahman M. Geotechnical behaviour of shell foundations. Department of Civil Engineering, Concordia University, Canada, 1996. URL: <http://spectrum.library.concordia.ca/128/> (дата обращения: 11.12.2021).
4. Hong T., Teng J. G., Luo Y. F. Axisymmetric shells and plates on tensionless elastic foundations // International Journal of Solids and Structures, 1999. Vol. 36. № 34. Pp. 5277-5300.
5. Пронозин Я.А., Цыганкова М.А., Волосюк Д.В. Технологические аспекты и экономические показатели устройства ленточных фундаментов





мелкого заложения, объединенных пологими оболочками // Вестник ПНИПУ «Строительство и архитектура», 2014. №3. С. 179-193.

6. Ким Б.Г., Пронозин Я.А., Цыганкова М.А., Волосюк Д.В. Опыт возведения ленточных фундаментов мелкого заложения, объединенных пологими оболочками в сложных инженерно-геологических условиях г. Тюмени // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 5. URL: science-education.ru/111-10407 (дата обращения: 28.11.2021).

7. Крыжановский А.Л., Бокижанов Х. И.-М., Потапов В.Н. Уменьшение осадки и крена сооружений методом предварительного напряжения их оснований // Энергетическое строительство, 1990. № 5. С. 40-43.

8. Петренко Л.К., Поповский Н.А., Гончаренко И.С. Опыт устройства фундаментов на предварительно уплотненном грунте // Инженерный вестник Дона, 2018. № 4. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5232

9. Жур В.Н., Александров А.П., Куликов А.С. Анализ просадочных процессов при компрессионном сжатии глинистых грунтов Ростовской области и Республики Калмыкия // Инженерный вестник Дона, 2021. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6801

10. Тишков Е.В., Роскошный С.С. Экспериментальные исследования деформативных характеристик пенополистила демпфирующих вставок // В кн.: Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации: материалы Международного конгресса ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Омск, 2013. С. 208-214.

11. Ярцев В.П., Андрианов К.А., Иванов Д.В. Физико-механические и технологические основы применения пенополистирола при дополнительном утеплении зданий и сооружений: учебное пособие – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 120 с.

## References

1. Ashihmin O.V., Poroshin O.S., Vanina Ju.V. Aktual'nye problemy arhitektury, stroitel'stva, jenergojeffektivnosti i jekologii. 2016. Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v treh tomah. Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Tjumenskij industrial'nyj universitet», 2016. Pp. 24-28.
  2. Tetior A.N. Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov, 2012. № 2. Pp. 13-16.
  3. Abdel-Rahman M. Department of Civil Engineering, Concordia University, Canada, 1996. URL: [spectrum.library.concordia.ca/128/](http://spectrum.library.concordia.ca/128/) (data obrashcheniya: 11.12.2021).
  4. Hong T., Teng J. G., Luo Y. F. International Journal of Solids and Structures, 1999. Vol. 36. No 34. Pp. 5277-5300.
  5. Pronozin Ya.A., Tsygankova M.A., Volosyuk D.V. Vestnik PNIPU «Stroitel'stvo i arhitektura». 2014. No 3. Pp. 179-193.
  6. Kim B.G., Pronozin Ya.A., Tsygankova M.A., Volosyuk D.V. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. №5. URL: [science-education.ru/111-10407](http://science-education.ru/111-10407) (data obrashcheniya: 28.11.2021).
  7. Kryzhanovskij A.L., Bokizhanov H. I.-M., Potapov V.N. Jenergeticheskoe stroitel'stvo, 1990. № 5. Pp. 40-43.
  8. Petrenko L.K., Popovskij N.A., Goncharenko I.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5232](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5232)
  9. Zhur V.N., Aleksandrov A.P., Kulikov A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6801](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/6801)
  10. Tishkov E.V., Roskoshnyj S.S. V kn.: Arhitektura. Stroitel'stvo. Transport. Tehnologii. Innovacii: materialy Mezhdunarodnogo kongressa FGBOU VPO «SibADI». Omsk, 2013. Pp. 208-214.
-



11. Jarcev V.P., Andrianov K.A., Ivanov D.V. Fiziko-mehaničeskie i tehnologičeskoe osnovy primeneniija penopolistirola pri dopolnitel'nom uteplenii zdaniij i sooruzhenij [Physico-mechanical and technological bases of the use of expanded polystyrene for additional insulation of buildings and structures]: učeбноe posobie. Tambov : Izd-vo GOU VPO TGTU, 2010. 120 p.