

## Экологическая безопасность и технологические факторы, влияющие на долговечность оболочки-опалубки

Арб.А. Арзуманов<sup>1а</sup>, А.Н. Ткаченко<sup>1б</sup>, Арм.А. Арзуманов<sup>1с</sup>, А.Ю. Мануковский<sup>2д</sup>,  
А.В. Князев<sup>2е</sup>, М.В. Степанищева<sup>3ф</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, Воронеж, Россия

<sup>2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,  
ул. Тимирязева, 8, Воронеж, Россия

<sup>3</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>а</sup> arben1@yandex.ru, <sup>б</sup> tan\_k56@mail.ru, <sup>с</sup> armen.arzumanov@yandex.ru, <sup>д</sup> mayu1964@mail.ru,

<sup>е</sup> mashina.76@mail.ru, <sup>ф</sup> marina01031977@inbox.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0004-1899-0433>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8697-9795>, <sup>с</sup> <https://orcid.org/0009-0008-5197-78504>,

<sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4289-6581>, <sup>е</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3305-7850>, <sup>ф</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>

Статья поступила 25.10.2023, принята 20.11.2023

*В статье подчеркнута актуальность использования пневмоопалубки для повышения экологической безопасности строительства, выделены факторы воздействия процесса строительства на природу, дано обоснование использования термопластичных тканей для изготовления оболочки — опалубки. Описан процесс возведения сооружений на пневмоопалубке. Дано описание всех технологических процессов во время строительства армоцементного свода с помощью оболочки — опалубки и характеристики воздействий на мягкие материалы, из которых изготовлена опалубка. В качестве определяющих выделены два фактора влияния на долговечность ПВХ ткани: абразивный износ и щелочная среда бетонной смеси. Описаны экспериментальные методы подготовки тканей к испытаниям после влияния агрессивных сред. Сформулированы рекомендации по использованию в качестве мягких материалов пневмоопалубок полиэтилентерефталатную ткань с поливинилхлоридным покрытием. Выделена задача изучения швов оболочки на общую прочность и геометрическую неизменяемость оболочки — опалубки. Даны эксплуатационные характеристики пневмоопалубки и факторы, влияющие на ее «оборачиваемость».*

**Ключевые слова:** экологическая безопасность; пневмоопалубка; абразивный износ; сроки строительства; окружающая среда; ресурсосбережение.

## Ecological safety and technological factors affecting the durability of the formwork shell

Arb.A. Arzumanov<sup>1а</sup>, A.N. Tkachenko<sup>1б</sup>, Arm.A. Arzumanov<sup>1с</sup>, A.Yu. Manukovsky<sup>2д</sup>,  
A.V. Knyazev<sup>2е</sup>, M.V. Stepanishcheva<sup>3ф</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Technical University; 84, 20 letiya Oktyabrya St., Voronezh, Russia

<sup>2</sup> Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov; 8, Timiryazev St., Voronezh, Russia

<sup>3</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>а</sup> arben1@yandex.ru, <sup>б</sup> tan\_k56@mail.ru, <sup>с</sup> armen.arzumanov@yandex.ru, <sup>д</sup> mayu1964@mail.ru,

<sup>е</sup> mashina.76@mail.ru, <sup>ф</sup> marina01031977@inbox.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0004-1899-0433>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8697-9795>, <sup>с</sup> <https://orcid.org/0009-0008-5197-78504>,

<sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4289-6581>, <sup>е</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3305-7850>, <sup>ф</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4867-3901>

Received 25.10.2023, accepted 20.11.2023

*The article emphasizes the relevance of the use of pneumatic formwork to improve the environmental safety of construction, highlights the factors of the impact of the construction process on nature, provides justification for the use of thermoplastic fabrics for the manufacture of the shell – formwork. The process of construction of structures on a pneumatic formwork is described. The description of all technological processes during the construction of the reinforced cement vault with the help of the formwork shell and the characteristics of the effects on the soft materials from which the formwork is made are given. As determining factors, two factors of influence on the durability of PVC fabric are identified: abrasive wear and the alkaline environment of the concrete mixture. Experimental methods of preparing tissues for testing after the influence of aggressive media are described. Recommendations are formulated for the use of polyethylene terephthalate fabric with a polyvinylchloride coating as soft materials for PVC formwork. The task of studying the shell seams for the overall strength and geometric immutability of the formwork shell is highlighted. The operational characteristics of the pneumatic formwork and the factors affecting its "turnover" are given.*

**Keywords:** environmental safety; pneumatic formwork; abrasive wear; construction time; environment; resource conservation.

**Введение.** В современных условиях актуальным является повышение экологической безопасности и уменьшение сроков строительства за счет использования мобильных технологий. Одной из подобных технологий, является возведение сооружений с помощью оболочки — опалубки. Специфика эксплуатации пневматической опалубки предъявляет к тканеполлимерным материалам требования повышенной стойкости к абразивному износу, воздействию щелочной среды бетона и влаги, а также жесткие требования к геометрической неизменяемости пневмоопалубки в процессе возведения сооружения. Строительство объектов с помощью пневмотехнологий позволяет значительно экономить расход бетона и других строительных материалов, что, безусловно, снижает негативное влияние процесса строительства на окружающую среду.

Факторы негативного воздействия строительства с помощью пневмоопалубки на окружающую среду [1] представлены в таблице.

Экологические риски	Да	Нет
Загрязнение атмосферного воздуха газопылевыми выбросами	–	+
Загрязнение подземных сточных вод	–	+
Негативное воздействие на акустическую среду	+	–
Нарушение естественного ландшафта местности	+	–
Экономия стройматериалов без потери эксплуатационных качеств.	–	+
Загрязнение местности строительными отходами	–	+

Особо можно выделить два фактора, влияющих на экологическую привлекательность данной технологии, это отсутствие загрязнения местности и экономия строительных материалов. И действительно, применение пневматической опалубки позволяет снизить себестоимость возведения сооружений, а именно: на 39,4 %, расход стали на 64 %, монолитного и сборного бетона на 68 % и трудозатраты на 29,8 % по сравнению со строительством аналогичного здания из сборного железобетона. Использование воздухопорных волнистых статических опалубочных форм значительно улучшает технологические и экономические показатели возведения по сравнению как с известными сборными вариантами, так и с применением пневмодинамических опалубок [2].

**Материалы и методы.** Процесс возведения армоцементных волнистых сводов состоит из трех этапов: монтаж пневмооболочки-опалубки и приведение ее в проектное положение, армирование конструктивных элементов, укладка бетона методом набрызга. Пневмоопалубка для возведения волнистых сводов — воздухопорная конструкция, повторяющая по очертанию армоцементное сооружение. Формообразование пневмооболочки достигается раскрытием из стандартных рулонов ткани шириной 0,8–0,9 м и наличием несущих вант. Для изготовления пневмооболочек-опалубок применяются резинотканевые материалы, серийно выпускаемые нашей промышленностью.

Пневмооболочка-опалубка изготавливается в заводских условиях и доставляется на строительную площадку в упакованном виде, разворачивается на месте производства работ и крепится по периметру фундамента при помощи инвентарных приспособлений. Торцевая часть опалубки крепится к анкерным фундаментам (инвентарным) в виде металлических винтовых свай.

После монтажа агрегатов системы воздухоподдачи, контрольно-измерительных и регулирующих приборов пневмо-

опалубка приводится в проектное положение при помощи комплекта серийно выпускаемых промышленностью воздухоподдувок. Монтаж арматуры свода производится с предварительной, укрупнительной сборкой пакета из тканой сетки непосредственно на опалубке на уровне земли [3]. Произведя контрольное освидетельствование правильности установки арматурных сеток и маяков, фиксирующих толщину конструкции, выполняют работы по укладке бетона способом мокрого торкретирования.

Укладка бетона ведется с автогидроподъемников типа АПП-22 послонно, в определенной последовательности с обеспечением достаточной его плотности во всех частях возводимого свода. В этих целях бетонирование рекомендуется вести от опор к коньку свода, соблюдая правильное направление факела смеси к бетонируемой поверхности и оптимальное для данного состава смеси расстояние. Регулирование толщины наносимого слоя пескобетонной смеси производится за счет изменения расстояния от сопла до поверхности оболочки и контроля угла атаки, который, в конечном счете, влияет и на долговечность оболочки.

При достижении бетоном конструкции проектной прочности производится распалубливание свода отключением воздухоподдувающих агрегатов. Пневмооболочка отделяется от забетонированной конструкции, как правило, без больших усилий, внутренняя поверхность свода имеет хорошее качество. Пневмооболочка-опалубка и крепежные элементы демонтируются, производится дефектный осмотр, просушка, очистка поверхности, затем опалубка сворачивается и укладывается в тару [4]. Таким образом, пневмоопалубка готова для повторного использования.

Одной из ключевых характеристик любой опалубочной формы является «оборачиваемость», которая влияет и на стоимость опалубки. Были опрошены десять независимых экспертов, занятых в строительстве и проектировании монолитных конструкций. Проведено ранжирование основных факторов, влияющих на долговечность материалов пневмоопалубок. После обработки полученных данных выделены основные требования к оболочке — опалубке: прочность, стойкость к щелочной среде бетона и абразивному износу при торкретировании, равнопрочность соединений и геометрическая стабильность оболочки — опалубки. Управление этими технологическими факторами является ключевой задачей наших исследований [6].

С помощью экспериментальных установок были созданы условия воздействия на термопластичную ткань с ПВХ-покрытием. Для испытаний на изменение прочностных и деформативных характеристик, изготовлены образцы ткани без воздействия щелочной среды (базовые), после воздействия бетонной смеси (щелочные) и после торкретирования (абразивные). Каждая группа образцов отбиралась после 5; 10 и 15 циклов воздействия.

Значительные деформации по отношению к «базовым» значениям возникают в начальный период эксплуатации. Это объясняется характером переплетения нитей текстильной основы. Под нагрузкой нити выпрямляются, что ведет к заметной деформативности ткани после 5 циклов. В дальнейшем (10; 15 циклов) деформативность по «основе» значительно уменьшается и приближается к «базовым» значениям. Это особенно важно для пневмоопалубок в связи с повышенными требованиями к геометрической неизменяемости оболочки, что напрямую зависит от деформаций ткани опалубки.

**Результаты.** Изучены условия гидроабразивного износа при пневмонабрызге бетонной смеси на лицевую поверхность пневмоопалубки и химическое воздействие агрессивной среды бетона на поливинилхлоридное покрытие. Установлены благоприятные режимы торкретирования и наиболее стойкие покрытия к воздействию щелочной среды бетонной смеси. Торкрет-бетон давно используется в строительстве для производства специальных работ. Требования к торкретиру-

емой поверхности — это небольшая толщина (до 10 см), большой модуль поверхности, плавное изменение внутренних сечений и криволинейность пространственных конструкций переменного сечения.

Во время нанесения на ткань оболочки пескобетона она испытывает абразивное воздействие песка разной фракции. Прочность и стойкость ПВХ покрытия защищает от фатального воздействия на нити несущего полотна. Чем дольше покрытие ткани будет сдерживать абразивный износ, тем выше долговечность, а значит, и «оборачиваемость» пневмоопалубки. Время воздействия песка на поверхность 1–2 с, в это время и происходит основное абразивное воздействие пескобетона на ткань. В дальнейшем бетон набрызгивается уже на ранее уложенный слой и не влияет на истирание ПВХ-покрытия. Маленькое время воздействия давало основание считать влияние абразивного износа на ткань с любым видом покрытия малозначительным.

Наши исследования основаны на учете истирания покрытия при набрызге пескобетона после 5; 10 и 15 циклов и показали, что образцы ткани под воздействием щелочной среды бетона и абразивного износа в первые 5 циклов сильно деформируются, а затем ткань теряет эластичность. После 15 циклов набрызга появляются микротрещины на покрытии, которые в дальнейшем пропускают агрессивные воздействия бетонной щелочи и абразива [8]. Существует два способа торкретирования, «сухой» и «мокрый». При первом способе сухая смесь подается к соплу и перед нанесением затворяется водой, второй способ заключается в подаче уже полностью готовой смеси на торкрет-установку, где ускоряется сжатый воздухом. При «сухом» способе смесь получается неоднородной из-за сложности рекулирования количества воды. Неоднородность бетона приводит к потерям смеси из-за отскока при нанесении и снижении прочности на сжатие.

При возведении сооружений на пневмоопалубке используется установка «Пневмобетон» 259-2.00.000 и ее модификации. На поверхность установленной и закрепленной по периметру на монолитном ленточном фундаменте оболочки — опалубки, армированной проволокой, наносится смесь воды, цемента и песка крупной фракции. Долговечность опалубки зависит от гидроабразивного износа ПВХ покрытия, которое защищает силовую тканевую основу. Исследованию этого вида износа посвящено много работ, на основе которых выделены два пути повышения абразивной стойкости пневмоопалубки.

Первое направление — подбор износостойких составов покрытия ткани за счет использования прочных композитных добавок.

Второе направление — опытным путем выработать рекомендации по правилам нанесения пескобетонной смеси, которые учитывали угол нанесения, потери при набрызге, упругость поверхности и твердость абразивных частиц.

Изучая влияние на истираемость материалов твердости абразивных частиц, возникают трудности при подборе абразивных материалов в широком диапазоне значений твердости при одинаковой форме частиц. В связи с этим целесообразно изучать влияние на износ не твердости абразива, а его абра-

зивной способности в целом с учетом твердости, формы зерен и других факторов.

Разработаны рекомендации по использованию в качестве мягких материалов пневмоопалубок полиэтиленерефталатную ткань с поливинилхлоридным покрытием. Установлено максимальное отклонение лицевой поверхности оболочки для пролетов от 6 до 48 м. Предлагается учитывать деформативность материала пневмоопалубки в зависимости от количества оборотов, при первоначальном раскрое полотна и регулировании избыточного давления внутри оболочки. Вышеуказанные действия повысят «оборачиваемость» пневмоопалубки, что скажется на снижении общей стоимости возведения зданий и сооружений на пневматической опалубке. Обозначены основные требования к мягким материалам оболочки — опалубки. Это достаточная разрывная прочность и прочность при раздире, воздухопроницаемость, стойкость против воздействия агрессивных сред (солнечной радиации, окисления, повышенной влажности, химической агрессии, холода, нагрева) и против механических повреждений (истирания, проколов), негорючесть, возможность устройства равнопрочных швов и доступность, т. е. массовость производства. На стадии изучения и разработки находятся вопросы модернизации и изменения конструкции шва с целью повышения равнопрочности соединения с основным полотнищем. Исследования идут в двух направлениях: первое — апробация новых видов сварки и оборудования, которое позволит сделать более прочным соединение основы полотнища; второе — разработка новой конструкции шва с накладными полосами вдоль и поперек соединения. Полученные результаты будут опубликованы.

Малоизученным является влияние швов оболочки на общую прочность и геометрическую неизменяемость оболочки — опалубки. Если в прорезиненных тканях используются прошивные и клеевые швы, то в термопластичных мягких материалах швы выполнены на основе сварки, которая обеспечивает высокую прочность шва и эффективна в применении. Фиксация по направлению на разрыв для такого материала происходит значительно качественнее. ПВХ сварка обеспечивает герметичность соединения и позволяет использовать материал практически в любых целях. В дальнейших исследованиях долговечности пневмоопалубки будет рассмотрено влияние на прочность и целостность сварного шва под воздействием щелочной среды бетона и абразивного износа при торкретировании пескобетонной смеси.

**Обсуждение и заключение.** В заключение можно сказать, что совершенствование любых строительных технологий должно вестись с учетом соблюдения экологических требований в области охраны окружающей среды, предъявляемых к проектированию и строительству зданий и сооружений, которые являются основным регулирующим фактором обеспечения экологической безопасности, поэтому необходимо постоянно изучать нормативы, разрабатывать новые требования и организационно-технологические решения, учитывающие состояние экологической обстановки и степень влияния строительных процессов на экологию территории.

#### *Литература*

1. Арзуманов Арм.А., Кранин И.А., Муковнин С.Ю. Исследование технологических регламентов строительства объектов с применением конструкций нового типа из вторичного сырья // Строительство и недвижимость. 2022. № 1 (10). С. 20-25.
2. Арзуманов Арбен.А. Особенности проектирования и эксплуатации пневматических сооружений лесной отрасли // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. URL: <http://www.science-education.ru/116-12954> (дата обращения: 20.11.2023).

3. Арзуманов Арм.А., Бушуева В.Г., Ветрова В.О. Исследование путей совершенствования технологии устройства каменных конструкций // Строительство и недвижимость. 2022. № 2 (11). С. 42-46.
4. Арзуманов Арм.А., Островский Д.А., Крамарев А.Н. Анализ конструктивно-технологических аспектов возведения малоэтажных зданий с применением деревянных конструкций // Строительство и недвижимость. 2022. № 2 (11). С. 47-54.
5. Арзуманов Арм.А., Ткаченко А.Н., Казаков Д.А., Чертов В.А., Василенко А.Н. Технология возведения волнистых фиброармированных сводов на пневмоопалубке каркасного типа // Проблемы современных экономических, пра-

- вовых и естественных наук в России: сб. материалов VI Междунар. науч.-практической конф. (Ганновер-Воронеж, 21-23 апр. 2017 г.). Воронеж, 2017. С. 101-104.
6. Azumanov Arm.A., Arzumanov Arb.A. Composite reinforcement systems for precast-monolithic slabs // Строительные и дорожные машины. 2019. № 8. С. 30-33.
  7. Бобровников Н.А. Охрана воздушной среды от пыли на предприятиях строительной индустрии. М.: Стройиздат, 1981. 99 с.
  8. Kazakov D.A., Tkachenko A.N., Bolotskikh L.V., Mishchenko A.V. Development of technology for the construction of heat-efficient monolithic vaults from basalt fiber concrete // Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region» (UESF-2021). e3s web of conferences, 2021. P. 09041.
  9. Arzumanov A.A., Matreninskiy S.I., Chertov V.A., Orlova D.E. Analysis of software integrity information and communication system // Journal of Physics: Conference Series. Eduard A., Shashkin A. 2019. P. 012011.
  10. Болотских Л.В. Экспериментальная оценка зависимостей прочностных характеристик слоя торкрет-бетона от технологических параметров нанесения бетонной смеси // Межвуз. сб. науч. трудов / ВГАСУ. Воронеж, 2001. С. 63-67.
  11. Друзь И.Б., Друзь Б.И. Нетрадиционные расчетные схемы для цилиндрических оболочек и пневмопанелей. Владивосток: ИНТЕРМОР, 1997. 115 с.
  12. Евдокимов Н.И., Илюшин С.Г. Современные конструкции опалубок и оснастка для возведения монолитных конструкций // Механизация строительства. 1997. № 6. С. 19-25.
  13. Казаков Д.А. Технология применения пневмокаркасных опалубочных систем с учетом влияния конструктивных соединений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2005. 22 с.
  14. Осипов Ю., Матехина О. Пневматические конструкции в формировании архитектурной среды // Вестн. Сиб. гос. индустриального ун-та. 2021. № 1 (1). С. 42-53.
  15. Петраков Б.И. Бетонирование конструкций с применением пневмоопалубки. Л., Стройиздат, 1974. 89 с.
  16. Теличенко В.И., Большеротов А.Л. Критерии, концепции и принципы формирования системы оценки экологической безопасности строительства (СОЭБС) // Вестн. МГСУ. 2012. № 1. С. 100-106.
  17. Азаров В.Н., Сергина Н.М. Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик вихревых пылеуловителей // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов: материалы междунар. науч.-практической конф. (18-20 мая 1999 г.). Волгоград, 1999. С. 67-68.
  3. Arzumanov Arm.A., Bushueva V.G., Vetrova V.O. Research on ways to improve the technology of constructing stone structures // Stroitel'stvo i nedvizhimost'. 2022. № 2 (11). P. 42-46.
  4. Arzumanov Arm.A., Ostrovskij D.A., Kramarev A.N. Analysis of structural and technological aspects of the construction of low-rise buildings using wooden structures // Stroitel'stvo i nedvizhimost'. 2022. № 2 (11). P. 47-54.
  5. Arzumanov Arm.A., Tkachenko A.N., Kazakov D.A., Chertov V.A., Vasilenko A.N. Technology of erecting wavy fiber-reinforced vaults on frame-type pneumatic formwork // Problemy sovremennykh ekonomicheskikh, pravovykh i estestvennykh nauk v Rossii: sb. materialov VI Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (Gannover-Voronezh, 21-23 apr. 2017 g.). Voronezh, 2017. P. 101-104.
  6. Azumanov Arm.A., Arzumanov Arb.A. Composite reinforcement systems for precast-monolithic slabs // Construction and Road Building Machinery. 2019. № 8. P. 30-33.
  7. Bobrovnikov N.A. Protection of the air environment from dust at the enterprises of the construction industry. М.: Strojizdat, 1981. 99 p.
  8. Kazakov D.A., Tkachenko A.N., Bolotskikh L.V., Mishchenko A.V. Development of technology for the construction of heat-efficient monolithic vaults from basalt fiber concrete // Ural Environmental Science Forum «Sustainable Development of Industrial Region» (UESF-2021). e3s web of conferences, 2021. P. 09041.
  9. Arzumanov A.A., Matreninskiy S.I., Chertov V.A., Orlova D.E. Analysis of software integrity information and communication system // Journal of Physics: Conference Series. Eduard A., Shashkin A. 2019. P. 012011.
  10. Bolotskikh L.V. Experimental evaluation of the dependences of the strength characteristics of the shotcrete layer on the technological parameters of the concrete mixture application // Mezhvuz. sb. nauch. trudov / VGASU. Voronezh, 2001. P. 63-67.
  11. Druz' I.B., Druz' B.I. Unconventional calculation schemes for cylindrical shells and pneumatic panels. Vladivostok: INTERMOR, 1997. 115 p.
  12. Evdokimov N.I., Ilyushin S.G. Modern formwork structures and equipment for the construction of monolithic structures // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 1997. № 6. P. 19-25.
  13. Kazakov D.A. Technology of application of pneumocarp formwork systems taking into account the influence of structural connections: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Voronezh, 2005. 22 p.
  14. Osipov YU., Matekhina O. Pneumatic structures in the formation of the architectural environment // Bulletin of the Siberian State Industrial University. 2021. № 1 (1). P. 42-53.
  15. Petrakov B.I. Concreting of structures using pneumatic formwork. L., Strojizdat, 1974. 89 p.
  16. Telichenko V.I., Bol'sherotov A.L. Criteria, concepts and principles of the formation of the environmental safety assessment system of construction (SOEBS) // Vestn. MGSU. 2012. № 1. P. 100-106.
  17. Azarov V.N., Sergina N.M. Experimental research aerodynamic characteristics of vortex dust collectors // Ekologicheskaya bezopasnost' i ekonomika gorodskih i teploenergeticheskikh kompleksov: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (18-20 maya 1999 g.). Volgograd, 1999. P. 67-68.

#### References

1. Arzumanov Arm.A., Kranin I.A., Mukovnin S.YU. Study of technological regulations for the construction of facilities using new types of structures made from recycled materials // Stroitel'stvo i nedvizhimost'. 2022. № 1 (10). P. 20-25.
2. Arzumanov Arben.A. Features of the design and operation of pneumatic structures in the forestry industry // Modern problems of science and education. 2014. № 2. URL: <http://www.science-education.ru/116-12954> (data obrashcheniya: 20.11.2023).