



УДК 624.074.433

doi: 10.48612/dnitii/2023_49_94-99

БИОНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЛЕГКИХ ОБОЛОЧЕК

В. П. Вершинин*

И. К. Дмитриев**

* Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

** Государственный университет по землеустройству (ГУЗ), г. Москва

Аннотация

В качестве покрытия легкой оболочки, использующей бионический принцип резильянса, было решено применить двойной ПВХ-тент с преднатяжением внутреннего слоя и еще один бионический принцип, а именно термонастию. В соответствии с ним цветы закрываются на ночь, сохраняя тепло, и раскрываются днем, открываясь солнцу. В зимнее время года между слоями тента закачивается воздух, превращая покрытие в пневмооболочку, удерживающую тепло с воздухом в качестве теплоизоляции. А в теплое время года воздух выпускается и слои тента вновь соединяются вместе, образуя двойное светопрозрачное покрытие. Также размещение углепластиковой арматуры внутри несущей конструкции позволяет располагать в такой оболочке водные объекты.

Совместное применение двух бионических принципов — резильянса и термонастии, позволяет создать конструкцию наиболее близкую к объектам живого мира, его законам и положениям.

Ключевые слова

бионика, резильянс, термонастия, пневмооболочка, воздушная теплоизоляция, углепластиковая арматура

Дата поступления в редакцию
02.12.2023

Дата принятия к печати
05.12.2023

Исследования в области бионики и бионических конструкций велись давно как в нашей стране, так и во всем мире. Ведущей организацией в этой области в России в начале нашего века была лаборатория бионики Ю. С. Лебедева, а в Европе были хорошо известны работы архитектора и инженера Отто Фрея из института ILEK Штуттгартского университета [1–3]. Наиболее интересным направлением работы лаборатории бионики было изучение резильянса или особой упругости, присущей многим растениям (**рис. 1**). Это свойство сильно прогибаться под действием внешней нагрузки не ломаясь свойственно молодым веткам деревьев, кустарнику, травам и цветам. Сильно наклоняясь под тяжестью снега или ветра, они накапливают упругую энергию как пружина. И как только давление немного уменьшается распрямляются, сбрасывая с себя внешнюю нагрузку [4].

Похожим образом ведет себя и стальной элемент, имеющий упругий участок на диаграмме напряжение-деформация, моделируемый пружиной. А стальная арматура по этому свойству похожа на ветку молодого дерева или высокий стебель травы [5–7]. Размещая такую арматуру внутри арки

из мелкогазмерных деревянных брусков, нанизанных на нее как бусы, можно добиться того, что арка будет прогибаться с дальнейшим восстановлением своей формы.



Рис. 1. Принцип резильяенса, основанный на силе упругости

Собранная из таких арок цилиндрическая оболочка прошла испытания и показала свои очень хорошие упругие свойства (рис. 2). Сильно прогибаясь под действием внешней силы, она восстанавливала свою форму после снятия нагрузки. При этом основными несущими элементами оболочки были продольные гирлянды, опирающиеся на торцевые диски, что полностью соответствовало теории висячих оболочек. А упругие поперечные арки выполняли роль пружин, возвращающих продольные гирлянды из деревянных элементов в форме цепи в исходное положение.



Рис. 2. Испытания цилиндрической резильяансовой оболочки

Дальнейшие эксперименты подтвердили резильянсовые свойства таких оболочек [8]. В лаборатории бионики Ю. С. Лебедева использовалась стальная арматура, что накладывало ограничения на применение оболочки. В случае влажных сред лучше использовать стеклопластиковую, а в последнее время уже и углепластиковую арматуру, не боящуюся влажности, хотя ее деформативные свойства примерно в 1,5 раза хуже, чем у стали — $E_{\text{угл.пласт.}} = 1,48 \cdot 10^6$ кгс/кв.см, $E_{\text{стали}} = 2,1 \cdot 10^6$ кгс/кв.см при модуле упругости простой стеклопластиковой арматуры всего $E_{\text{стекло.пласт.}} = 0,55 \cdot 10^6$ кгс/кв.см. Эта небольшая разница для углепластиковой арматуры может быть компенсирована увеличением ее диаметра в поперечных арках. Однако основные проблемы возникают с устройством покрытия такой оболочки. Использование парашютной ткани в качестве покрытия, не обладающей эластическими свойствами и без преднапряжения, привело к образованию на ней складок и плохой совместной работы несущего каркаса и покрытия в экспериментальном образце Ю. С. Лебедева (рис. 3). При этом сама оболочка была темной и холодной, хотя и не продувалась ветром.



Рис. 3. Покрытие оболочки парашютной тканью

Для успешной совместной работы двух систем можно использовать еще один бионический принцип живой природы, а именно термонастию. Он присущ многим цветам, например тюльпанам или одуванчику. Раскрывая лепестки днем, в вечернее время бутоны закрываются, сохраняя таким образом тепло [9, 10]. Используя до 70% прозрачное, двойное ПВХ или из усиленного полиэтилена /ПЭ/ покрытие, можно накрыть конструкцию трансформируемой пневмооболочкой. При этом в процессе монтажа осуществляется поперечное преднапряжение ее ткани. В ней возникают растягивающие напряжения, которые будут уменьшаться при внешнем воздействии на оболочку кратковременной ветровой или снеговой нагрузки, но никогда не достигнут нуля. Покрытие всегда будет находиться в растянутом состоянии. При опускании температуры и наступлении зимы между слоями пневмопокрытия, компрессором нагнетается воздух, который выполняет роль теплоизоляции. А при наступлении теплой погоды, воздух выпускается и покрытие возвращается к своему первоначальному двухслойному состоянию с соприкосновением его слоев. Таким образом, используется бионический принцип термонастии (рис. 4). При этом за счет поперечного преднапряжения ткани покрытия в оболочке не возникают складки [11 – 13]. Воздух является очень хорошим теплоизолятором. При этом, чем на большее количество секций он разделен, тем выше его теплоэффективность.



Рис. 4. Принцип термонастии в растительном мире

Выводы

1. Совместное применение двух бионических принципов — резильянса и термонастии позволяет получить легкие, транспортабельные и всепогодные сооружения, обладающие упругими свойствами, в которых будет светло и можно находиться в любое время года (рис. 5). В них покрытие и несущая конструкция не работают сами по себе, а находятся в гармоническом соединении.

2. Использование углепластиковой арматуры дает возможность располагать в бионических оболочках и разные водные объекты — бассейны, емкости с водой, и т. д. Например, используя такую оболочку в качестве покрытия биофабрики водной лекарственной флоры и фауны (рис. 6), можно приблизиться к естественной среде обитания водных растений и животных. Чем больше бионических принципов заложено в конструкции, тем ближе она к природе, к ее законам и положениям.

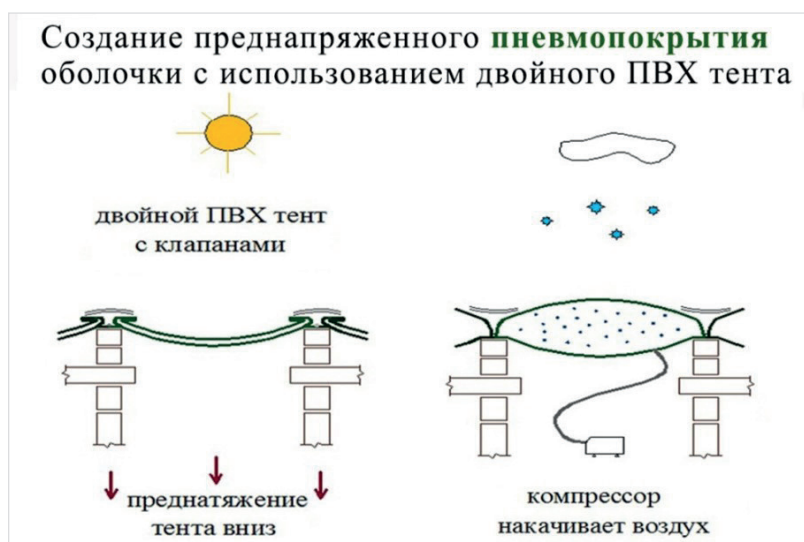


Рис. 5. Использование принципа термонастии в висячей оболочке

Рис. 6 см. на следующей странице



Рис. 6. Бионическая оболочка водной лекарственной флоры и фауны, получившая серебряную медаль на выставке «Золотая осень-2023»

Библиографический список

1. Дмитриев И. К. Исследование работы стержне-вантовой гирлянды // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 11. С. 53–55.
2. Дмитриев И. К. Экспериментальное исследование арочной гирлянды // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10. С. 58–61.
3. Winfried Nerdinger., Frei Otto. Complete works. Lightweight construction. Natural design, Birkhauser,Architekturmuseum, TU Munchen, May 24 005, 396 p.
4. Патури, Феликс Р. Растения — гениальные инженеры природы / Перевод с нем. Ю. И. Куколева; Ред. и послесл. Б. П. Степанова. М.: Прогресс, 1979. 312 с.
5. Данилова Е. А., Братан Ф. И., Хотулева Е. И., Окольников Г. Э. Основные принципы концепции «зеленого строительства» // Системные технологии. 2020. № 4 (37). С. 16–19.
6. Яцзин В., Калинина Н. С. Применение BIM технологии в проектировании «зеленых» зданий // Системные технологии. 2023. № 1 (46). С. 198–207.
7. Трибельская Е. Г., Турсунбаева Т. Ж. Современная практика проектирования низкоуглеродных городов // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 155–166.
8. Дмитриев И. К. Результаты исследования несущей способности стержне-вантовой гирлянды и формы оболочек на ее основе // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 9. С. 4–6.
9. Батурицкая Н. В., Фенчук Т. Д. Удивительные опыты с растениями: Минск : Нар. света, 1991. 206 с.
10. Полевой В. В. Физиология растений: М.: Изд. высш. школа, 1989. 464 с.
11. Блинов Ю. И. Тентовые здания и сооружения (аспекты мягких покрытий и перспектива развития): дис. докт. техн. наук 05.23.01. Строительные конструкции, здания и сооружения. М.: МИСИ, 1992. 401 с.

12. Ермолов В. В. и др. Пневматические строительные конструкции /; Под ред. Ермолова В. В. М.: Стройиздат, 1983. 439 с.

13. Klaus-Michael Koch, Karl J Habermann, Brian Forster. Membrane structures: innovative building with film and fabric: Munich; New York: Prestel, 2004. 263 p.

BIONIC PRINCIPLES OF LIGHT SHELLS

V. P. Vershinin*

I. K. Dmitriev**

* Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

** State University of Land Use Planning (SULUP), Moscow

Abstract

For the light shell, based on the bionic principle of resilience, it was decided to use a double PVC-tent with pretension of its inner layer and another bionic principle, by the name of thermonasty, as a coating of this shell. According to this principle, the flowers close its petals at night, keeping warm that's way, and open them in the morning, directing themselves to the sunshine. In winter, air is pumped between the two layers of the tent, turning the coating into a heat-holding pneumatic shell with air as the thermal insulation. And in warmer months, the air is released and the layers of the tent are joined together again, forming a double translucent coating. Also, the placement of the carbon fiber armature inside the load-bearing structure, allows to place water objects in such a shell. The combined application of two bionic principles — resilience and thermonasty, allows to create a structure that is closest to the objects of the living world, its laws and regulations.

The Keywords

bionics, resilience, thermonasty, pneumatic shell, air thermal insulation, carbon fiber armature

Date of receipt in edition

02.12.2023

Date of acceptance for printing

05.12.2023

Ссылка для цитирования:

В. П. Вершинин, И. К. Дмитриев. Бионические принципы легких оболочек. — Системные технологии. — 2023. — № 4 (49). — С. 94–99.