

Из истории изобретений и открытий

РАЗВИТИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. В. ЕРМОЛОВ

В середине нынешнего века на страницах газет и популярной технической периодики появились сенсационные заголовки: «Воздушные замки XX века», «Крышу держит воздух», «Дома из ... воздуха» и т. п. Начались массовое изготовление и возведение сооружений нового типа — пространственных конструкций класса мягких оболочек, несущая способность которых обеспечивается предварительным натяжением, создаваемым наполняющим эти оболочки воздухом под избыточным (по отношению к атмосферному) давлением.

Процесс проникновения пневматических конструкций в строительство и другие области техники стал бурным и стремительным. Казалось, что человечество, потрясенное столь поздним своим «прозрением», стремится наверстать упущенное. На Западе этот процесс получил название «пневматического бума».

Однако оказалось, что пневматические, или надувные, конструкции — вещь не такая уж новая.

Надувные оболочки, обладая мягкостью, легкостью и способностью изменять объем от малого, транспортного до огромного, эксплуатируемого, привлекали внимание человека на протяжении всей истории развития материальной культуры.

Предки современных надувных матрацев изображены на средневековых гравюрах, реконструирующих по литературным описаниям кожаные матрацы солдат Древнего Рима [3]. Известно, что и великий Леонардо не прошел мимо надувных конструкций, используя их, правда, в развлекательных целях [1, с. 256].

Несмотря на кажущуюся простоту, пневматические строительные конструкции смогли появиться лишь как продукт высокой техники второй половины XX в. При всей стародавности идеи они как реальность появились недавно. Дело не только в том, что в прошлых веках еще не было синтетического волокна для тканевых оболочек (были ведь хлопок и натуральный шелк), но не было полимерных покрытий для придания тканям воздухонепроницаемости (но были натуральные смолы и масла!). Главное, материалы прежних лет не были ни прочными, ни долговечными. Они не были массовой промышленной продукцией. Не было и надежных воздухоподающих систем, делающих сооружение устойчивым и надежным.

Пневматические строительные конструкции делят на две самостоятельные группы — воздухонесомые и воздухоопорные.

Воздухонесомые (собственно надувные) — это стержневые или панельные конструкции, несущая способность которых (сопротивление сжатию, изгибу, кручению) обеспечивается высоким давлением воздуха в их замкнутом объеме. Воздухоопорные конструкции отличаются тем, что их оболочка, как правило, большого размера просто «лежит» на воздухе, которому из-под нее выйти некуда; она «опирается» на воздух, находящийся под очень невысоким давлением. С точки зрения строителя, первый тип — это конструктивный элемент, второй — сооружение, здание.

Обе эти разновидности развивались разными путями, и история их разная. Отделение истории воздухонесомых конструкций от истории воздухоопорных зданий не должно создавать впечатления полной независимости их развития друг от друга. Здесь это делается лишь для того, чтобы показать, что идея воздухоопорных сооружений — использование в качестве эксплуатируемого пространства подоболочечного

объема с повышенным давлением воздуха — оказалась настолько плодотворной, что немедленно вызвала к жизни многие забытые проекты пневматических строительных конструкций.

Воздухонесомые и воздухоопорные конструкции развивались в последние годы одновременно, параллельно, и очень часто одни и те же научно-исследовательские организации, конструкторские бюро, специализированные предприятия и фирмы занимались обоими видами пневматических конструкций. Это вполне естественно. Не говоря об общем принципе работы, сходных материалах и расчетно-теоретических проблемах, воздухонесомые и воздухоопорные конструкции нередко объединялись в едином комбинированном сооружении, обладающем признаками того и другого типов.

Зарождение *воздухонесомых* конструкций теряется во мгле веков. Во всяком случае, бесспорно, их прообразом были замкнутые оболочки, изготовленные из шкур или внутренностей животных. Это емкости для жидкостей (бурдюки) и плавсредства (пузыри, плоты); затем, после развития ткачества и освоения технологии обрешинки тканей, — мягкие резервуары, лодки и т. п.

Примеров нестроительного применения замкнутых надувных оболочек можно привести очень много, начиная с ассирийских плотов [2, илл. 234в]. Однако воздухонесомые строительные конструкции — пневматические балки, арки, панели и др. — появились не так давно.

В патентных архивах нам удалось найти сведения о том, что наш соотечественник, инженер путей сообщения И. А. Сумовский, 26 декабря 1893 г. получил американский патент № 511 472 на изобретенную им «аэробалку». И. А. Сумовский [3, лл. 1—45] — личность небезызвестная в воздухоплавательных кругах; из «Очерка деятельности воздухоплавательного отдела Русского технического общества» следует, что смысл его предложения сводился к тому, чтобы во избежание потерь газа или воздуха делать оболочки двойными. «Г-н Сумовский дает этой конструкции название «аэробалок»: они могут быть очень полезны в том случае, если потребуется иметь большое сопротивление изгибу при небольшом весе балки» [4, лл. 49—58].

Но были ли эти балки строительными? Может быть, они предназначались для полужесткого дирижабля? Дальнейший поиск указывает на связь их со строительством. В «Журнале новейших изобретений и открытий» за 1896 г. говорится: «Выдающийся интерес представляют аэробалки, изобретенные г. Сумовским. Сущность нового изобретения сводится к следующему: непроницаемые мешки длиной до двух и более сажен различного диаметра наполняются при помощи воздушного насоса воздухом. Из этих мешков можно строить легко и быстро громадные постройки на суше и наводить понтонные мосты... Оригинальная идея г. Сумовского проверена практически, и Министерство путей сообщения уже ассигновало необходимую сумму для производства дальнейших опытов с его изобретением» [5, с. 33].

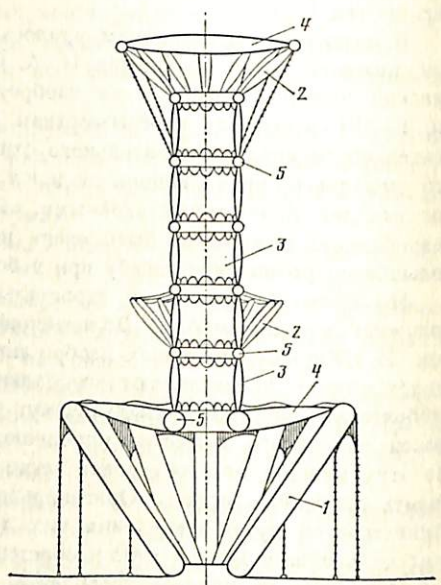
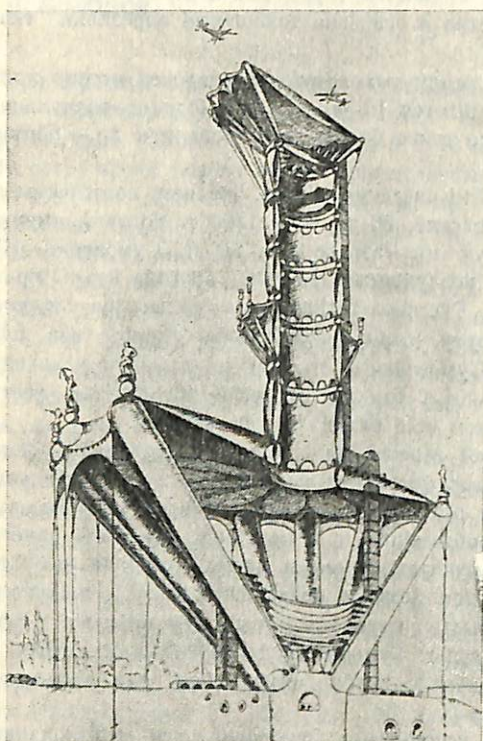
Пока еще не удалось установить, как использовал Сумовский эти ассигнования. Следы ведут в Ленинград, где находится архив министерства, в котором, возможно, сохранились интересные материалы первых в истории испытаний пневматических балок.

Идея балки в виде мягкой оболочки, напряженной заключенным в ней воздухом, осеяла впоследствии многие умы. Некоторые идеи были реализованы. Например, японец Канешиге Номура в 1929 г. изготовил опытный образец палатки «тент-модерн» размерами 2×2×2 м с каркасом из четырех пневмостержней и получил на нее японский патент № 65 170 [6]. Кстати, его сын Риотаро Номура в настоящее время возглавляет крупнейшую в Японии и ведущую в мире фирму пневматических и тентовых конструкций «Таёо Когио».

Пневмокаркасные палатки «Иглу» были разработаны английской фирмой «Нью-матик тент» в Доркинге в 1934 г. Серийное их производство началось в 1936 г. и продолжается по сей день [7]. Они успешно применялись англичанами в первые годы войны в качестве укрытий для самолетов.

Говоря о пневматических конструкциях, нельзя не упомянуть имя проф. Г. И. Покровского, который при всей многоплановости своих научных поисков не прошел мимо перспектив, которые это направление открывало. В 1936 г. в журнале «Техника — молодежи» он выступил с проектами пневматических зданий. Он их называл тогда фантастическими, не предполагая, вероятно, что уже через 45 лет их станут называть

устаревшими, и отнюдь не потому, что они порочны в своей сути. Просто действительность успела опередить фантастику. Об одном из своих проектов Г. И. Покровский пишет: «Перед нами фантастический рисунок, изображающий перспективный разрез дворца физкультуры. Дворец построен из тонких пленок и деталей, заполненных сжатым воздухом. Легкость тонкопленочных конструкций позволяет применять очень смелые решения. В данном случае башня висит на мембране, образующей слегка провисающий конический поток центрального зала. Портик, окружающий главный вал, состоит из тонких колонн и арок, работающих на растяжение. На рисунке показан также и грунт с тремя тоннелями метро и группой тоннелей для технических целей. Масштаб сооружения виден по стоящим слева автомашинам. На верхнюю площадку башни совершают посадку два автожира» [8].



«Фантастический» проект Дворца физкультуры (Г. И. Покровский, 1936 г.) [8]:
а — архитектурный рисунок Покровского; *б* — инженерная реконструкция автора статьи:
 1 — колонна, 2 — подкос, 3 — панель стенки, 4 — пневмолинза, 5 — тор

Внимательное рассмотрение проекта позволяет отметить основные конструктивные элементы сооружения: *надувные* — колонны, стеновые панели, кольцевые обвязки и *растянутые* — оттяжки, катенарные пояса и мембраны. Посадочная площадка для автожиров представляет собой пневматическую подушку (пневмолинзу).

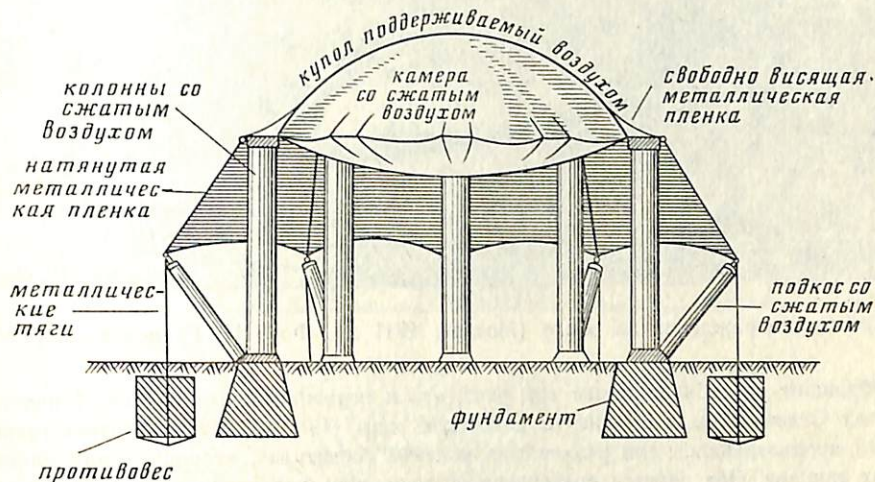
В другом проекте Г. И. Покровского [8] — покрытии зала — пневмолинза представлена более обстоятельно. Это первая публикация идеи пневмолинзы, которая столь успешно была материализована фирмой «Бэрдэйр» в 1959 г. в виде покрытия летнего театра в Бостоне, США. После этого пневмолинзы в мировой строительной практике применялись неоднократно, но размеры бостонского покрытия (диаметр 44 м) до сих пор остаются непревзойденными.

В дальнейшем развитие пневматических строительных конструкций воздухоносного типа характеризуется превращением пневмостержней в пневмопанели, сначала конструктивно-анизотропные, затем изотропные («аэроматы»), и появлением пространственных пневмопанельных сооружений — сводов, куполов, складок. Рекордными

считаются арки павильона «Фудзи» на «Экспо-70» в Осаке, пролетом 50 при высоте 25 и диаметре сечения 4 м.

История *воздухоопорных* зданий совсем коротка.

Гениально простая идея воздухоопорных оболочек, состоящая в том, что сжатый воздух подается не в полости несущих элементов, а прямо в эксплуатируемое помещение, была реализована строителями на удивление поздно. Несмотря на достаточно широкое распространение средств воздухоплавания в конце прошлого и начале нынешнего века, что свидетельствует и о наличии подходящих материалов, и об освоении техники раскроя и соединения полотнищ, никто не догадался превратить воздушный шар, аэростат, стратостат в земное, нелетающее существо. Вероятно, этому помешал пафос воздухоплавания, «приземлять» который казалось нелепым. Только этим



Проект пневмолинзового покрытия круглого зала (Г. И. Покровский, 1936 г.) [8]

можно объяснить то, что опущенные на землю аэростаты заграждения, лежавшие во время войны на городских площадях, не превратились в надувные дома. Достаточно взглянуть на снимок времен обороны Москвы 1941 г., где на фоне Большого театра виден полуспущенный аэростат, чтобы испытать чувство досады. Что стоило бы прикрепить его кольями к земле, наполнить воздухом, и крыша над головой, так нужная в те суровые годы, была бы готова, тем более, что для этой цели можно было использовать старые, списанные с учета оболочки и из одного отлетавшего свое аэростата, разрезав его вдоль на две половины, получить два больших воздухоопорных здания. Но эта мысль никому в голову не пришла.

А между тем воздухоопорное сооружение на бумаге уже существовало. Оно было изобретено Фредериком У. Ланчестером еще в 1917 г. (английский патент № 119 339). Это был цилиндрический свод со сферическими окончаниями, содержащий все элементы современного пневматического сооружения: оболочку, анкерное устройство для крепления к грунту, входные шлюзы, воздухоподающую установку и даже систему усиливающих кольцевых канатов, которую и сейчас еще считают новинкой.

В 1938 г. Ланчестер опубликовал новый проект воздухоопорного купола диаметром 330 м, как бы парящего над капитальным, квадратным в плане зданием [9]. В конструкции купола были предусмотрены горизонтальные кольцевые канаты усиления, на наш взгляд менее нужные, чем меридиональные. В том же 1938 г. немецкий архитектор Бодо Раш [10] выступил с проектным предложением пневматического строительного тепляка для Антарктиды.

Следующий проект воздухоопорного здания был разработан в 1942 г. американцем Гербертом Г. Стивенсом. Это был очень пологий купол в виде сферического сегмента с диаметром основания 366 м. Замечательно то, что материалом оболочки служила тонколистовая сталь толщиной 1,27 мм [11].



Аэростат заграждения на земле (Москва, 1941 г.). Фото Н. Грановского (ТАСС)

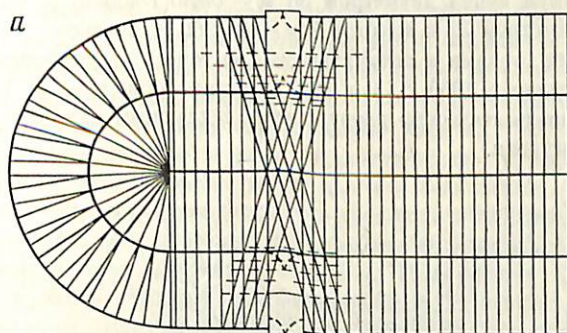
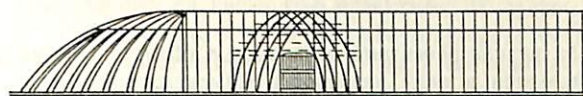
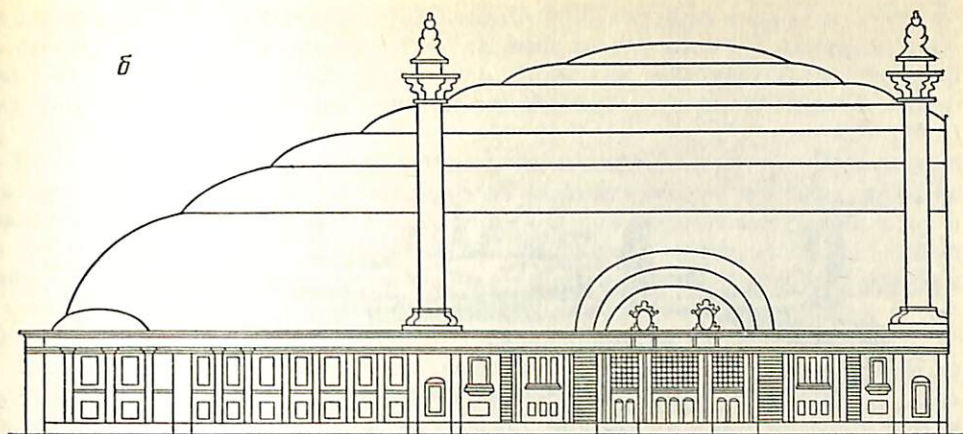
Обращает на себя внимание тот факт, что и первоначальный проект Ланчестера, и проект Стивенса были выдвинуты в военные годы (1917 и 1942 гг. соответственно). Первый предназначался для размещения полевых госпиталей, второй — для авиасборочных заводов. Оба проекта подчеркивали стремление инженеров помочь своим странам преодолеть трудности военного времени, а также демонстрировали присущую только пневматическим сооружениям ценную для этого времени способность быть смонтированными за несколько дней.

Ни один из этих проектов тем не менее реализован не был. Мало того, они были просто забыты. Остались без внимания и первые попытки англичан применить воздухоопорные купола в качестве тренажеров для артиллеристов-зенитчиков. А. Квормби [7] свидетельствует, что фирма RFD изготавливала воздухоопорные купола диаметром 6 и 9 м. На их внутреннюю поверхность, как на сферический экран, проецировались кинокадры с атакующими самолетами.

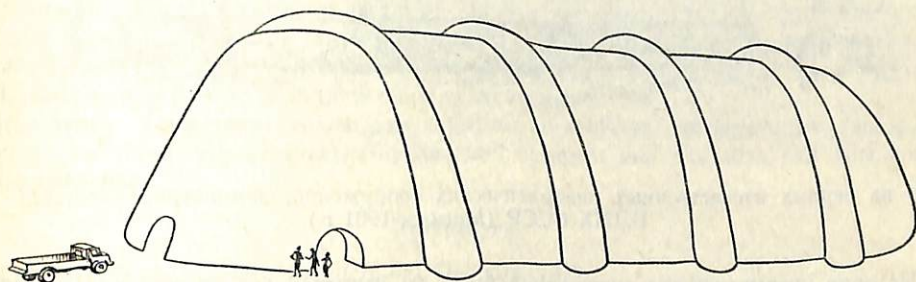
Поэтому, когда в 1946 г. американский авиационный инженер Уолтер У. Бэрд, выполняя задание по разработке конструкции радиопрозрачного укрытия для вращающихся антенн радиолокаторов дальнего обнаружения, натолкнулся на мысль об использовании пневматических оболочек, он даже не знал о проектах Ланчестера.

Первое реальное воздухоопорное здание, смонтированное У. У. Бэрдом в 1948 г., представляло собой сферический купол диаметром 18 и высотой 12 м [12]. Некоторое время эта конструкция держалась под секретом, но когда к началу 50-х годов сотня таких «радомов» выстроилась вдоль северных границ Америки, скрывать их стало бессмысленным. В 1956 г. Бэрд решил организовать свою собственную фирму «Бэрдэйр», работающую на открытый рынок. Бизнес оказался удачным, хотя сразу же появилось несколько конкурирующих фирм. Одна из них, «Сидэйр», ухитрилась выбросить на рынок первые образцы своей продукции даже раньше Бэрда. В 1957 г. в США насчитывалось уже около 50 подобных фирм. Многие из них не выдержали конкуренцию и прекратили свое существование, чему способствовало и то, что, не обладая опытом Бэрда, они совершили ряд ошибок, свидетельствовавших о том, что воздухоопорные сооружения не так уже просты, как это может показаться на первый взгляд.

Европа в создании пневматических сооружений оказалась позади, и первым воздухоопорным зданием, которое увидели европейцы на своей земле в 1958 г., был из-

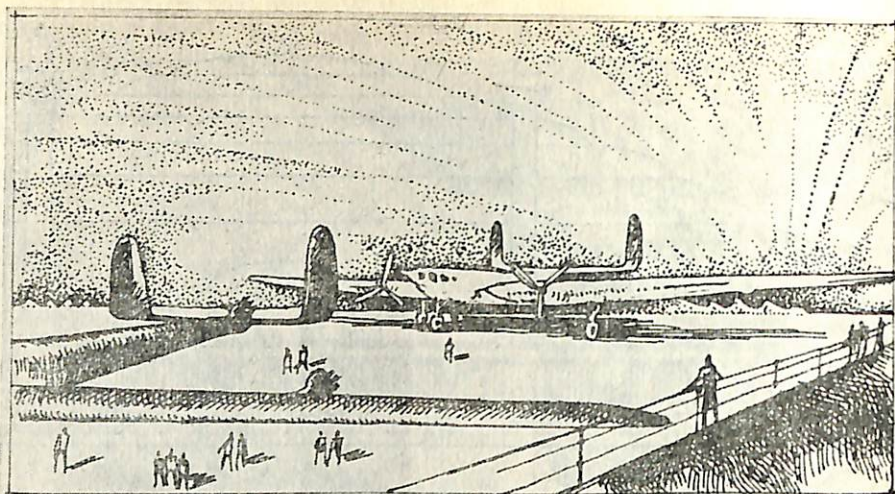


Проекты воздухоопорных зданий Ф. У. Ланчестера: а — цилиндрический свод (1917 г.); б — сферический купол (1938 г.) [9]



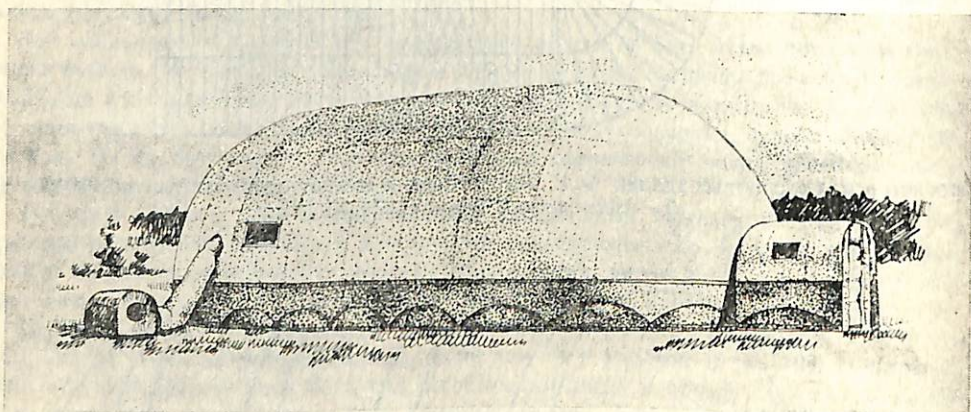
Пневматический строительный тепляк для Антарктиды (предложение Б. Раша) [10]

готовленный американской фирмой «Ирвинг» выставочный павильон авиакомпании «Пан-Ам» на Брюссельской всемирной выставке. Вслед за этим во многих европейских странах, а также в Японии началось интенсивное освоение производства пневматических сооружений. Специализированные фирмы возникли практически во всех технически развитых странах.



Проект металлической воздухоопорной оболочки над авиасборочным цехом
(Г. Г. Стивенс, 1942 г.) [11]

Несмотря на ранние проектные начинания в области пневматических строительных конструкций (имеются в виду разработки Сумовского и Покровского), практическая реализация их у нас началась с некоторым опозданием. Первое воздухоопорное здание — сферический купол диаметром 36 м — было создано в 1959 г., второе — конический купол диаметром 22 и высотой 9 м — в 1960 г., третье — полуцилиндрический свод со сферическими торцами и автоматической системой регулирования поддува воздуха — было смонтировано в 1960 г., а в 1961 г. экспонировалось на ВДНХ. Оно стало первым в стране пневматическим сооружением, доступным для обозрения многим тысячам посетителей выставки.



Одно из первых отечественных пневматических сооружений, демонстрировавшееся на ВДНХ СССР (Москва, 1961 г.)

История пневматических сооружений была бы неполной без упоминания их роли в деле освоения морских глубин и космоса. В обоих случаях человек оказывается во враждебной ему среде, в условиях, которые даже нельзя назвать ставшим уже привычным словом «экстремальные». Жизнь под водой — это жизнь под давлением во столько избыточных атмосфер, сколько десятков метров насчитывает глубина погружения, жизнь во внезапном пространстве — жизнь в абсолютном вакууме.

Но поскольку сам факт функционирования пневматических сооружений связан с наличием разницы давлений по обе стороны оболочки, то возникает ситуация, в целом

благоприятная для реализации пневматического принципа. Если давлением дыхательной смеси в подводном домике уравнивать давление воды, а оболочку космического домика сделать достаточно прочной для того, чтобы она выдерживала давление этой смеси, то проблема пребывания человека под водой или в космосе окажется решенной.

Первую задачу успешно решил в 1964 г. Эдвин Линк (изобретатель авиационного тренажера «кабина Линка», действующего на аэродинамическом принципе), погрузив в районе Багамских островов надувной домик с двумя гидронавтами, прожившими в нем 49 часов на глубине 132 м [13]. Первый в Европе подводный пневматический домик «Спрут» был разработан советскими акванавтами в 1967 г. В течение 14 суток он испытывался под водой, служа лабораторией. Модель оказалась удачной, ее модификации назывались «Спрут М» (1968 г.) и «Спрут У» (1969 г.) [14].

Для жизни на Луне специалисты американской фирмы «Гудир» спроектировали и изготовили в натуральную величину образец цилиндрического пневматического домика диаметром 2,1 и длиной 4 м для проживания в нем двух космонавтов в течение 8 суток [15]. Практическое его использование программой «Аполлон» не предусматривалось.

В настоящее время пневматические конструкции завоевали полное признание в строительстве. Воздухоопорные здания изготавливаются и монтируются во всех странах мира, в том числе и в СССР. Общее их число уже превысило 100 тысяч. Ангренский завод РТИ в Узбекистане — крупнейшее в мире по производительности предприятие подобного профиля. Повышаются долговечность и прочность материалов из синтетического волокна, сопротивление разрыву которого достигает прочности стали. Появляются новые конструктивные решения. Растут перекрываемые пролеты. В 1982 г. был перекрыт стадион пролетом 190 м, а всего лишь за 15 лет до этого рекордный пролет едва превышал 60 м. Со все большей настойчивостью и обоснованностью предлагаются проекты перекрытия громадных (3 км и более) пролетов оболочек над городами, агротехническими комплексами, открытыми разработками полезных ископаемых. Под прозрачными куполами создается искусственный климат, обеспечиваемый в основном путем использования солнечной энергии. Пневматические конструкции, являясь по сути дела техническим достижением, могут иметь и социальные последствия, если иметь в виду проблемы градостроительства или сельского хозяйства.

Эти захватывающие перспективы не могут не вызывать энтузиазма у фантастов, журналистов и популяризаторов технических достижений. И поскольку «пневматический всплеск» произошел в очень короткий (практически 25 лет) период, многим лицам первые дошедшие до них сведения показались первыми вообще, в абсолютном смысле.

А желание поскорее поделиться с читателем своими впечатлениями, в том числе и такими, которые касаются приоритета (а это уже история), нередко приводило к конфузам.

Именно это обстоятельство и заставило автора настоящей статьи проделать кропотливую и, как оказалось в дальнейшем, захватывающую работу по установлению близкой к истине картины развития пневматических строительных конструкций — отделить правду от вымысла, действительное от желаемого.

Несомненно, существует целый ряд событий, оставшихся неизвестными автору, однако он надеется, что настоящая публикация поможет ему получить ряд дополнительных сведений.

Литература

1. *Нардини Бруно*. Жизнь Леонардо. М.: Планета, 1978.
2. Памятники мирового искусства. Искусство Древнего Востока. М.: Искусство, 1968.
3. ЦГИА СССР, ф. 229, оп. 10, д. 2685.
4. ЦГВИА СССР, ф. 802, оп. 3, д. 991 (Брошюра «Очерк деятельности Воздухоплавательного отдела Русского технического общества». Спб., 1904).
5. Идеи наших предков. — Техника — молодежи, 1969, № 3.
6. *Isono Y.* The development of pneumatic structures in Japan. IASS International symposium on pneumatic structures. Delft, 1972.
7. *Квормби Артур*. Архитектор и пластмассы. М.: Стройиздат, 1978.
8. *Покровский Г. И.* Тонкие пленки. — Техника — молодежи, 1936, № 2—3.
9. *Lanchester F. W.* Span. — Trans. Manchester Assoc. Eng's, 1938.

10. Projektstudie Stadt in der Arctis (IL 2). Stuttgart, 1971.
11. Stevens Herbert H. Air-supported roof for factories.—Architect. Rec., 1942, v. 92, № 6.
12. Bird Walter W. The history of the air structures in the USA. Zelte tents (IL 16). Stuttgart, 1976.
13. Stenuit R. The deepest days.—Nat. Geogr., 1965, № 4.
14. Шабалин В. Н., Королев А. Б., Муравьев А. Б. Особенности конструирования пневматических подводных домов и перспективы их применения.—В кн.: Некоторые результаты и перспективы применения подводных домов в морских исследованиях. М.: Наука, 1973.
15. Pearson M. Pneumatic structures.—Architect. Rev., 1967, v. 142, № 848.

АНРИ ФАБР — СОЗДАТЕЛЬ ПЕРВОГО В МИРЕ ГИДРОСАМОЛЕТА

Е. А. КОБЫЛЯНСКИЙ [Таганрог]

Первым человеком в истории авиации, сумевшим взлететь и сесть на воду, был мало известный в авиационных кругах Франции конструктор и авиатор Анри Фабр (Henri Fabre). Сооружение, на котором он взлетел 28 марта 1910 г. с поверхности гавани, расположенной недалеко от Марселя, вряд ли можно было квалифицировать как самолет. Скорее всего, шутили в газетах того времени, это был «недоделанный забор, к которому приделали крылья». На вид неуклюжий летательный аппарат оказался на удивление устойчивым на воде и в воздухе. Первый его полет был произведен без рекламных объявлений и газетных сенсаций. Только немногие знали, что этому предшествовала длительная исследовательская и конструкторская работа.

В зарубежной литературе это событие получило достаточно подробное освещение, чего пока нельзя сказать об отечественных исследованиях по истории авиации. Настоящая заметка ставит своей целью по возможности восполнить этот пробел.

Анри Фабр родился в 1882 г. в семье состоятельного судовладельца. С раннего возраста мальчик увлекался летающими игрушками, которые ему дарили. В 16 лет он самостоятельно построил планер по рисунку, взятому в одном из журналов, и совершал на нем непродолжительные полеты с горы вблизи Гренобля. Во время частых плаваний по Средиземному морю на отцовском корабле Анри приходит к мысли сделать летающее устройство, способное взлетать и садиться на воду. Отец, которому он рассказал об этом, принял эту мысль за мальчишечью фантазию; однако как деловой человек предложил: если Анри получит высшее образование и не остынет к своему замыслу, он даст необходимую сумму для постройки такой фантастической машины.

Фабр принял условие и отправился в Париж, где поступил в высшую техническую школу. Увлеченный авиацией, он часто посещал мастерские и ангары, в которых строили свои аэропланы Блерию, Бреге, Фарман и Вуазен. Никто из них, за исключением, пожалуй, Габриэля Вуазена, не придавал значения блестящей идее молодого студента. Все были слишком заняты своим делом. В 1906 г., закончив курс обучения, Фабр возвращается домой. Получив от отца необходимые средства, Анри приступает к разработке аппарата, которому дает название «гидроплан».

В качестве устройства, удерживающего гидроплан на воде, Фабр выбрал небольшие легкие понтоны. Взлетная скорость его летательного аппарата с понтонами должна была быть равна скорости отрыва от земли сухопутного самолета или несколько превосходить ее. Однако таких скоростей на воде еще не достигали. Какое устройство лучше подошло бы для этого? Правда, в Италии по одному из озер уже носилось построенное Форланини судно на подводных крыльях. Но то были подводные крылья. А как поведут себя на таких скоростях понтоны? Какими они должны быть: длинными или короткими, широкими или узкими? На эти вопросы ответы могли дать только опыты. Фабр решил испытать на воде буксировкой сделанные в натуральную величину понтоны, чтобы выяснить их гидродинамические характеристики. Для протаски-