



УДК 624.011

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОБЛЕГЧЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ПАЙКЕРИТА ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ РОССИИ

Н.А.Слободчиков, к.в.н, проф., ПГУПС,

Н.К.Васильев, к.т.н, ст.н.с., ПГУПС,

В.И. Моисеев, д.т.н, проф., ПГУПС.

Открытие новых месторождений нефти, газа и полезных ископаемых в Арктике превращает этот регион в зону стратегических интересов ряда стран Европы, Азии и Америки. При этом у России возникает задача усиления обороны своих северных рубежей. Решение этой задачи связано со строительством сооружений для тылового обеспечения войск и сил флота. Эти сооружения могут быть объектами атаки наших потенциальных противников в кризисных ситуациях.

Рассматривая перспективы строительства складов для топлива и горюче-смазочных материалов, ангаров для техники, укрытий для средств ПВО и др. в условиях Северной климатической зоны исходим из следующих факторов.

- Потенциальные противники России имеют самые современные средства воздушного и космического наблюдения и обнаружения, работающие, в том числе, и в инфракрасном диапазоне, а также высокоточное оружие и крылатые ракеты, способные поражать любые цели с большого расстояния. Это хотя и мощное, но очень дорогостоящее оружие, при этом его эффективность может быть значительно снижена установкой большого количества ложных целей, мобильностью основных объектов и надлежащими мероприятиями по их маскировке. Очевидно, что и маскируемый объект, и ложные цели должны возводиться в кратчайшие сроки, небольшим числом рабочих или личного состава войск и иметь низкую себестоимость. Полярная ночь и характерная почти для всех областей Арктики низкая облачность и снегопады в зимнее время способствуют мероприятиям по обеспечению скрытности строительства и развертывания сил тылового обеспечения.
- Традиционные методы повышения живучести объекта (заглубление в землю, применение мощных железобетонных конструкций и т.д.) в Арктике затруднены. Затруднения связаны как с характером грунта (повышенной влагонасыщенностью, вечной мерзлотой, протаивающей в летнее время), так и высокой стоимостью доставки строительных материалов к строящимся объектам.
- Единственным материалом, который имеется повсеместно в Арктике, является лёд и его использование в качестве строительного материала для легких временных сооружений хорошо известно. Но строительные характеристики льда (прочность, жесткость, трещиностойкость, теплостойкость и др.) явно недостаточны даже для условий Севера, где возможна интенсивная солнечная радиация в полярный день и повышение средней температуры воздуха до плюс 5...10°C в летние месяцы. Возможен, хотя и на короткий срок, подъём температуры воздуха до плюс 20...25°C.

Учитывая сказанное, рассмотрим вариант строительства сооружения военного назначения, например, склада для жидкого топлива сил ВМФ, с обеспечением его маскировки и организацией нескольких ложных объектов.



Для основного объекта (склада) можно в качестве основы взять стандартный ангар. Компания «СТАЛЬ», например, изготавливает их в холодном и теплом исполнении. Её модели «Q», «R» и «T» имеют ширину от 6 до 30 метров при любой длине, отвечающей потребностям решаемой задачи. Максимальная высота у арочной модели «Q» может составлять 12 метров, у двух других моделей высота не ограничивается. Ангараы возводятся за 10...12 рабочих дней, а в разобранном виде транспортироваться всеми видами транспорта. Возможно исполнение ангараов и с кран-балкой. Гарантированные допустимые снеговая и ветровая нагрузки у них составляют 100 кг/м^2 и 40 кг/м^2 соответственно.

Как видно, эксплуатационные характеристики ангараов достаточно привлекательны для поставленной цели строительства складского помещения.

Ангар ставится либо на почву, либо на лёд, но эти основания не могут считаться надёжными в летнее время, поэтому как грунт, так и лёд надо поддерживать в условиях низких температур, проводя периодическое их охлаждение.

Для этого необходим малогабаритный и лёгкий, но, вместе с тем, достаточно мощный источник холодного воздуха, который будет прогоняться по трубам, заглубленным в почву (вмороженным в лёд).

Таким источником холодного воздуха, работающим на автономном режиме, может быть турбодетандер – машина, хорошо известная в криогенной технике. Она отличается большой надёжностью в работе, простотой обслуживания и малыми эксплуатационными расходами. В этой машине воздух, сжатый всего лишь до $500...600 \text{ кПа}$ охлаждается, совершая работу по вращению турбины [1].

Можно реализовать холодильную машину и совсем не имеющую движущихся частей. В последнем варианте турбодетандер изготавливается в виде короткой аэродинамической трубы, с поворотными коленами, выполненной по принципу «труба в трубе, внутри трубы». (Число этих участков «ступеней турбодетандера» может быть и большим).

Теплопередача через стенки труб осуществляется в режиме противотока. Скорость течения воздуха по трубам должна лежать в интервале $15...50 \text{ м/с}$ для реализации турбулентного режима течения, обеспечивающего наибольший коэффициент теплопередачи через стенки труб.

Пусть, например двигатель М-14 лёгкого спортивного самолета Як-50, мощностью 268 кВт и массой 480 кг создаёт воздушный поток со скоростью $V=70 \text{ м/с}$.

Поток проходит по внешней, сужающейся трубе, испытывая адиабатическое сжатие, связанное с его нагреванием. Выделяющаяся теплота отводится в окружающее пространство через стенки внешней трубы.

В конце трубы установлено поворотное колено, обеспечивающее адиабатическое расширение проходящего воздуха. Если давление и температура воздуха на выходе внешней трубы соответственно равны p_1 и T_1 и при адиабатическом расширении давление уменьшается до p_2 , то температура воздуха при этом становится равной:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{j-1}{j}}$$

Здесь $j=1,4$ - показатель адиабаты воздуха. Легко найти, что уменьшение давления, например, в полтора раза ($p_2/p_1=0,67$) ведёт к уменьшению температуры до $T_2 = 0,89 \cdot T_1$.



Если на выходе внешней трубы температура воздуха $T_1=293\text{K}$ (т.е. плюс 20°C), то после адиабатического расширения уже на первом колене она станет равной $T_2=260\text{K}$ (т.е. достигает отрицательных значений минус 13°C).

Там же, на поворотном колене имеется вход во внутреннюю, также сужающуюся трубу, где теплота адиабатического сжатия передается уже охлажденному потоку, протекающему по внешней трубе. Внутренняя труба также имеет на выходе поворотное колено, обеспечивающее его адиабатическое расширение. На этом участке располагается вход в третью внутреннюю трубу.

Таким образом, воздух три раза проходит поворотные колена, каждый раз испытывая адиабатическое расширение, связанное с охлаждением.

Следует упомянуть, что эффект адиабатического охлаждения воздуха настолько силен, что вызывает большие затруднения с эксплуатацией самолетов, где подача воздуха на компрессор силовой установки производится после прохождения через канал с поворотными коленами. Они забиваются льдом, даже в условиях полета в зоне экватора, на небольших высотах и при температурах воздуха, превышающих плюс 20°C .

Лед возникает при конденсации паров воды из влажного воздуха и замерзания образующихся водяных капель [1].

Выполняя стандартные расчеты, применяемые при проектировании теплообменных аппаратов, выполненных по схеме «труба в трубе» можно оценить и габариты установки, и конечную температуру воздуха на выходе из неё. Оценки показали, что на участках адиабатического расширения в условиях: на первом колене $p_2/p_1=0,77$, на втором колене $p_3/p_2=0,77$ и на третьем, колене $p_4/p_3=0,8$ имеет место следующий режим охлаждения воздуха: на первом колене на 8°C на втором колене, на $12,5^\circ\text{C}$ на третьем колене на $15,5^\circ\text{C}$.

При этом перепад температур на входе и на выходе устройства составляет уже 36°C . При температуре наружного воздуха плюс 5°C получается мощный воздушный поток с температурой минус 30°C , которым и будет охлаждаться влагонасыщенный грунт (или лёд).

Рассмотрим вариант установки ангара на льду, где организована, например, вертолетная площадка. Увеличение прочности и теплостойкости льда, под ангаром достигается следующим образом. В специальной емкости готовится водный раствор из водорастворимых высокомолекулярных соединений, например, крахмала или поливинилового спирта (ПВС). При охлаждении таких растворов до твердого состояния образуются композиционные материалы с матрицей из льда – льдокомпозиаты, имеющие высокую по сравнению с льдом прочность и трещиностойкость. Если модуль упругости озерного льда колеблется в пределах $(45...80)\cdot\text{кПа}$, то модуль упругости льдокомпозиата, имеющего состав: ПВС 10%, борная кислота 1%, вода 89% достигает уже 315 кПа [2], т.е. увеличивается в 4...7 раз.

Крахмал и ПВС являются экологически безопасными продуктами, применяемыми в пищевой промышленности. Лед под ангаром упрочняется послойным намораживанием раствора, подаваемого на него через шланг насосом из специальной емкости. Операция проводится уже после постройки ангара.

Недостатком эксплуатируемых помещений является то, что в них всегда выделяется тепло (от работающих двигателей, от систем обогрева помещений, где находится личный состав и др.). Выделяющееся тепло демаскирует объект, этот недостаток может быть устранен следующим образом. На крыше ангара крепится в один слой легкая пластиковая геосетка, после чего на неё



наносится стандартными средствами пенного пожаротушения быстротвердеющая пена (БТП), имеющая в своем составе значительное количество воды. При низких температурах воздуха БТП затвердевает, превращаясь в искусственный продукт – пенолёд вещество белого цвета, неразличимое на снегу, обладающее высокими теплоизолирующими и звукоизолирующими свойствами, которое может выполнять тепловую маскировку объекта.

Один из вариантов БТП с высокими эксплуатационными характеристиками и низкой себестоимостью имеет следующий состав: мочевиноформальдегидная смола «крепитель М» - 40%, пенообразователь «ПО-1» - 5%, вода - 52%, соляная кислота – 3%.

Для производства БТП водный раствор смолы и пенообразователя из специальной емкости направляется к пеносмесителю, куда одновременно подаются соляная кислота и воздух, образующий пеномассу с кратностью 20...25. (Отношение объема пеномассы к объему жидкой фракции перед пенообразованием).

С помощью пожарного оборудования - насоса, осуществляющего барботирование жидкой фракции, и пеноствола образующаяся пена подается на крышу ангара. При производительности оборудования 11...18 м³/час работа по покрытию ангара пенольдом толщиной 10...15 см выполняется силами трех- четырех человек в течение 2...3 часов. Образующийся при затвердевании БТП пенолед имеет низкие плотность $\rho = 20...50 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,035...0,07 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ и удельную теплоемкость $C = 1,42 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$.

Практически те же характеристики имеет стекловата – традиционный теплоизолирующий материал. Достоинством пенольда является и то, что образующийся внутри ангара излишек теплоты не выделяется наружу, а расходуется на плавление пенольда, который легко восстанавливается повторным нанесением БТП.

Пеномасса, приготовленная по указанному выше составу проходила натурные испытания, которые показали её высокую морозостойкость. Образцы БТП выдержали 50 циклов замораживания (до минус 30[°]C) и оттаивания, сохранив упругие свойства. Признаков разрушения образцы БТП не имели.

Ложные цели, имитирующие объект, имеют идентичные с ним форму и габариты, но представляют собой надувные конструкции, которые легко возводятся, демонтируются и перемещаются по мере необходимости. При возведении такое сооружение наполняется воздухом, после чего на его наружную поверхность послойно намораживается водяная пульпа, содержащая волокнистые армирующие добавки.

В 2015 г. в Финляндии уже было возведено, правда в мирных, и даже развлекательных целях, масштабное сооружение “Sagrada Familia in Ice”, выполненное из пайкерита - смеси льда с древесными опилками, намороженного на надувную конструкцию, удерживаемую на стадии сооружения стропами (рис.1). По окончании строительства надувные элементы конструкции были удалены, а сооружение успешно простояло всю зиму и удержалось при ветровых нагрузках. Однако в течение всего лета оно не могло не растаять, это и не планировалось изначально.

Указанная трудность возведения сооружений из льда легко устраняется, если надувные элементы конструкции не удалять, а пропускать через них в течение летнего времени воздух, охлажденный турбодетандером до температуры минус 30[°]C



Кроме того, строительные характеристики пайкерита можно резко повысить, если в водяную пульпу перед намораживанием первых слоев вводить упомянутые поливиниловый спирт (3,0...12%) и борную кислоту или буру (0,2...1,0%), а на поверхности надувной конструкции укрепить легкие, георешетки для упрочнения льда и удержания его на поверхности надувной конструкции.

Сооружение, выполненное из пайкерита, также возводится в течение не более двух – трех дней, силами одного взвода и имеет очень низкую себестоимость. Оно способно отстоять всю зиму и лето и может использоваться самостоятельно, например, для хранения тары и пищевых продуктов. Внутри него можно организовать спортивную площадку для личного состава, оно может маскировать место всплытия подводной лодки, необходимое для решения боевой задачи и др.

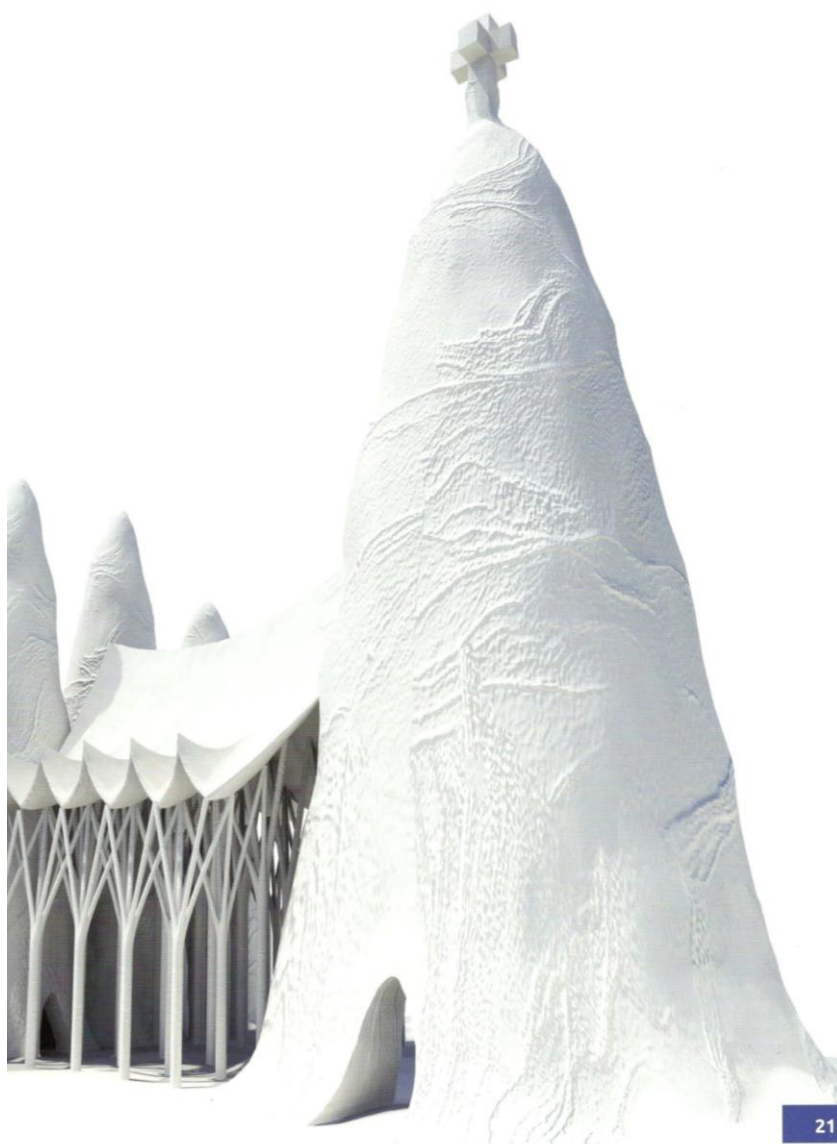


Рис.1. Строительное сооружение из пайкерита – кирха в натуральную величину [3]



В условиях Арктики эти сооружения практически неразличимы на окружающем ландшафте, они также не могут быть обнаружены по тепловому излучению средствами космического наблюдения.

Возможно и другое рациональное использование ложных целей. Например, если на длинную кучу приготовленного к перевозке угля или гравия нанести слой БТП, то это мероприятие предотвратит промерзание насыпного груза при низких температурах воздуха, с другой стороны эта куча может полностью имитировать рассмотренный выше ангар.

Арктическая зона России обширна и практически не заселена, её площадь превышает 14 млн.км², в ней очень много заснеженных бугров, валунов и торосов. Все они стоят с сотворения мира, но внутри нескольких из них могут невзначай оказаться и стоящие на боевом дежурстве ракетные комплексы. Эти успокаивающие соображения, возможно, заставят наших потенциальных противников нацеливать свои крылатые ракеты и высокоточное оружие стоимостью в миллионы долларов за каждую единицу на упомянутые бугры, валуны и торосы.

За миллион долларов можно построить два 2 ангара (с учетом доставки материалов) и не менее 20 сооружений из пайкерита.

Страны НАТО подводят свои силы вплотную к границам России, в ответ мы можем предложить им очень увлекательную игру даже не в три а «в десять наперстков». Практика показала, что игра в три наперстка оканчивается существенной потерей веса кошелька приглашенного, а также снижением уровня его самооценки в окружающем мире. Как первое, так и второе совершенно необходимо для наших зарубежных оппонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трунов О.К. Обледенение самолетов и средства борьбы с ним. М., «Машиностроение», 1965г., 245с.
2. Васильев Н.К. Исследования по упрочнению льда водорастворимыми высокомолекулярными соединениями. Известия ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева.1986.Т.205. С.45-48.
3. Васильев Н.К., Пронк А.Д.С. Ледяные и льдогрунтовые композиты как строительные материалы в ледяных сооружениях. Известия ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева. 2015.Т.277. С.35-45.