

**НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА  
ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**

УДК 004.925.8

**ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРОВ ОТ ВЕТРОВОЙ  
НАГРУЗКИ. ЧАСТЬ 1. ПОСТРОЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
ОБТЕКАТЕЛЯ**

*Цыбульник С. А.*

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
г. Киев, Украина*

*Ветровая нагрузка является одним из основных внешних воздействий, которые влияют на надежность и долговечность зданий и сооружений. Расчет на ветровую нагрузку очень важен при проектировании резервуаров для хранения экологически-опасных веществ. Анализ причин выхода резервуаров из строя показал, что в большинстве случаев это происходит из-за концентрации напряжений в области дефекта или трещины при низкой температуре внешней среды. Предложено средство для понижения ветровой нагрузки на резервуар. Для проверки эффективности построено семьдесят пять геометрических моделей. Проведено сравнение спутниковых снимков и схем станции Академик Вернадский для правильного размещения обтекателя.*

***Ключевые слова:** вертикальный стальной резервуар, геометрическое моделирование, ветровая нагрузка.*

**Введение**

Одним из наиболее важных классов объектов, с точки зрения пожаро- и взрывоопасности, являются резервуары для хранения экологически-опасных веществ (в том числе нефтепродуктов). Несущая способность большинства резервуаров зависит от работоспособности их основных конструктивных элементов: стенок, днища и кровли. На стадии проектирования параметры механических свойств материалов определяются соответствующими нормативами в зависимости от величины нагрузок. На практике влияние реальных статических и динамических воздействий природного или техногенного происхождения приводит к изменению механических характеристик материалов элементов конструкций. С течением времени это может привести к появлению и накоплению дефектов и, в конечном итоге, к разрушению конструкции.

К природным динамическим воздействиям относится ветровая нагрузка, которая уже более ста лет привлекает внимание строителей к проблемам устойчивости и безаварийной эксплуатации зданий и сооружений. Ветровая нагрузка во многом зависит от скорости и порывистости ветра, аэродинамических коэффициентов формы, размеров и расположения конструкции относительно воздушного потока. Поэтому расчет на ветровую нагрузку является неотделимой частью проекта практически любого сооружения, особенно если рассматриваются вопросы надежности или поиска оптимальных вариантов.

### **Постановка задачі**

В период эксплуатации инженерных и строительных сооружений возможно накопление различных дефектов, имеющих случайный характер возникновения и развития, которые вызывают местные дополнительные напряжения за счет взаимодействия между собой. Сочетание двух и более дефектов в зоне зарождения разрушения является одной из наименее изученных проблем. Результаты анализа дефектов и отказов резервуаров свидетельствуют о таком явлении, как совместное действие вмятины на стенке и технологического дефекта сварного шва. На практике большинство хрупких разрушений стальных вертикальных резервуаров возникает из-за сварочных дефектов или трещин малоциклового усталости, образующихся вблизи мест концентрации напряжений особенно при значительном понижении температуры внешней среды [1-4]. Следует заметить, что информация о причинах возникновения и последствиях аварий не является полной. Фирмы-владельцы разрушенных резервуаров, как у нас в стране, так и за рубежом, не заинтересованы в распространении достоверной информации об истинных причинах разрушения резервуаров, о масштабах причиненного ущерба, экологических последствиях аварий, часто представляют недостоверную информацию [2].

В случае возникновения незначительного дефекта не всегда есть возможность заменить нужный элемент конструкции, поэтому целесообразней обеспечить безопасность использования резервуаров, потенциально содержащих некоторые начальные дефекты. Примером такого объекта может быть вертикальный стальной резервуар (объемом 200 м<sup>3</sup>) для хранения нефтепродуктов, который установлен на украинской антарктической станции Академик Вернадский. В работе [5] было проведено имитационное моделирование воздействия ветровой нагрузки на данный резервуар. Учет новых данных о условиях окружающей среды позволил получить уточненную зависимость максимального давления на резервуар от скорости ветра, график которой изображен на рис. 1.

В результате несколько расширились по сравнению с [5] зоны, характеризующие безопасную эксплуатацию и аварийное состояние резервуара.

Расположение станции вдали от квалифицированного для проведения ремонтных работ персонала и ресурсной базы требует введения дополнительных мер по защите резервуара от внешних воздействий. Одной из таких мер может быть установка с наветренной стороны резервуара так называемого обтекателя – конструкции определенной формы и размеров, которая снижает нагрузку от давления ветра на резервуар. Примером может служить рассмотренный в [6] тандем цилиндров. Недостатком такого варианта является использование обтекателя равного с резервуаром по диаметру, так как это приведет к значительным финансовым затратам. Первым шагом для решения данной проблемы является построение моделей обтекателя различных форм и размеров, а также моделей системы объект-обтекатель для дальнейшего исследования. Это позволит свести к минимуму количество датчиков информационно-диагностического комплекса [5] с наветренной стороны резервуара путем выбора оптимальных

геометрических характеристик обтекателя.

Подобное исследование проводится впервые.

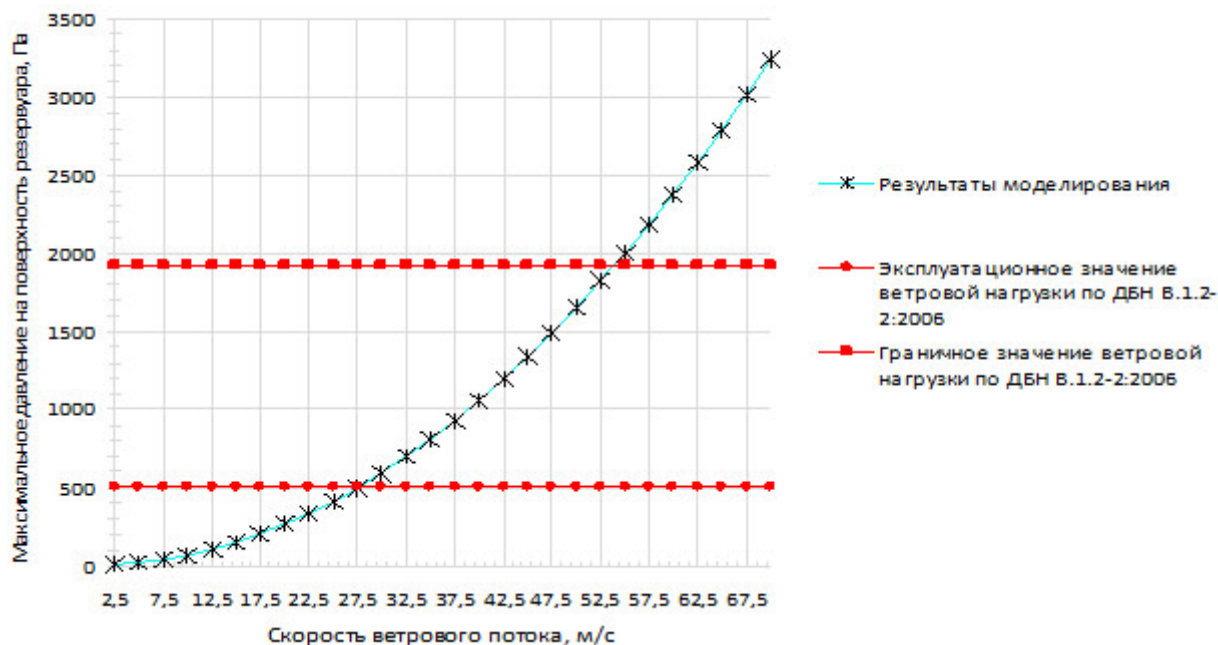


Рис. 1. График зависимости максимального давления на резервуар от скорости ветра

### Геометрическое моделирование

Построение моделей осуществлялось с помощью САД-системы САТІА. Для поиска наиболее эффективного обтекателя было принято решение исследовать разные их формы и размеры. На этапе предварительного имитационного моделирования были выбраны обтекатели со следующими геометрическими фигурами в их поперечном сечении:

- круг (рис. 2, а);
- квадрат (рис. 2, б);
- звезда или ее подобие, полученное, например, путем деления трубы в вертикальной плоскости на четыре равных части и дальнейшее их соединение между собой как показано на рис. 2, в.

Выбор первых двух форм связан с относительной простотой реализации обтекателя круглого и квадратного сечения при использовании различных материалов (даже в условиях климата Антарктики). В случае обтекателя звездообразной формы существуют некоторые затруднения его производства и монтажа, связанные с необходимостью выполнения дополнительных видов работ при создании такого обтекателя из стали, а именно:

- резка и сварка трубы для обтекателей малого диаметра ( $d \leq 500$  мм);
- гибка и сварка листовой стали для обтекателей большого диаметра ( $d > 500$  мм);
- в отдельных случаях резка и сварка трубы для обтекателей большого

діаметра ( $d > 500$  мм).

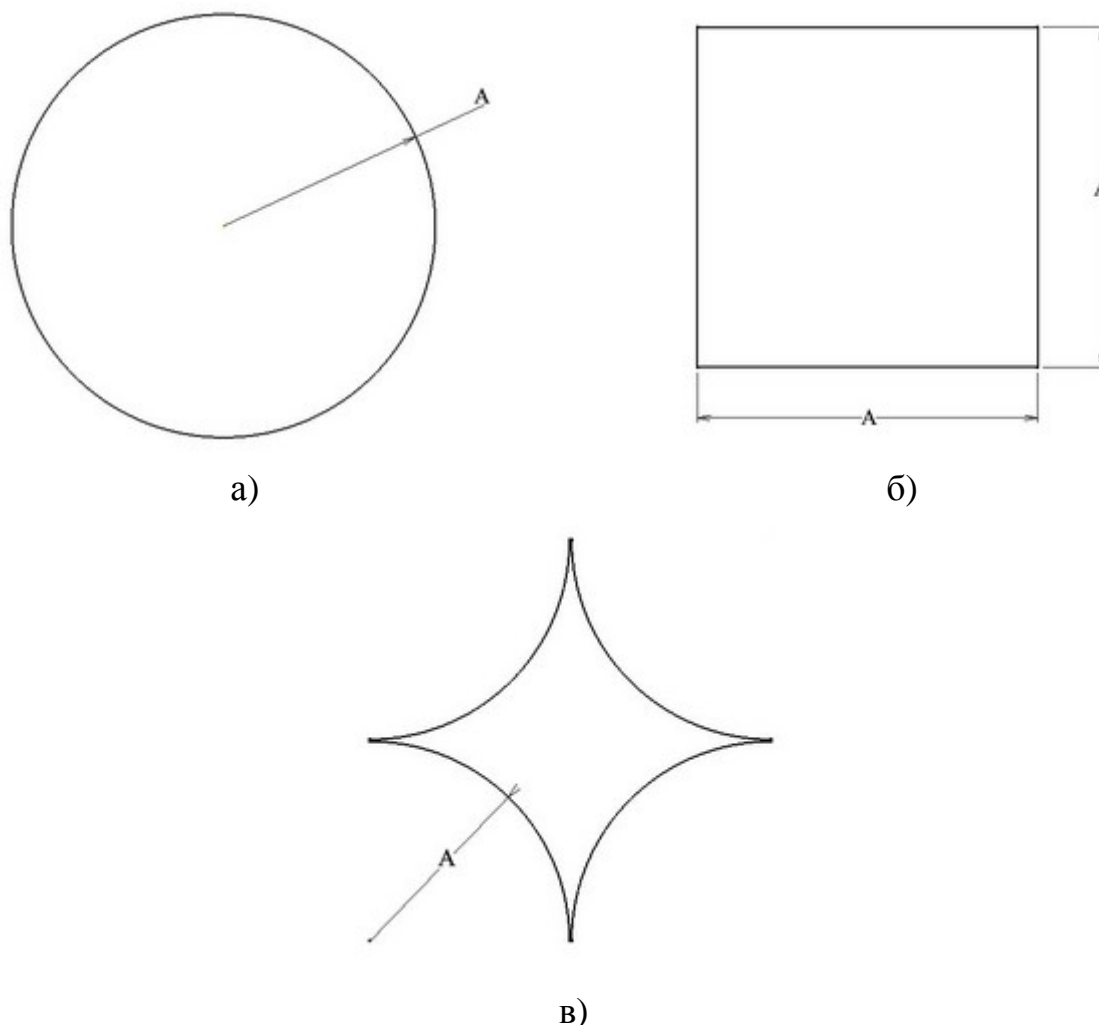


Рис. 2. Общий вид поперечного сечения обтекателей: а) круг; б) квадрат; в) звезда

Для исследования влияния ширины/радиуса (рис. 2) обтекателя на его эффективность использованы следующие значения параметра  $A = 500$  мм;  $750$  мм;  $1000$  мм. Значения  $A > 1000$  мм в данной статье не рассматриваются в виду значительного повышения стоимости производства такого обтекателя за счет увеличения его объема при малом влиянии на эффективность. Исследование обтекателей при  $A > 1000$  мм может быть необходимо для повышения эффективности их применения для вертикальных цилиндрических резервуаров с диаметром свыше  $8$  м или резервуаров нецилиндрической формы.

Помимо ширины/радиуса было также исследовано влияние еще двух параметров, а именно: высоты обтекателя и межосевого расстояния. Высота была выбрана равной  $1/3$ ;  $2/3$ ;  $3/3$ ;  $4/3$ ;  $5/3$  высоты самого резервуара. Под межосевым расстоянием ( $L$ ) подразумевается расстояние между вертикальными осями резервуара и обтекателя круглой формы. Для обтекателей квадратной и звездочной формы вертикальная ось образуется путем соединения точек, полу-

ченних при пересечении диагоналей, на нижнем и верхнем основании. Минимальным возможным расстоянием  $L$  в случае выбранного резервуара является пять метров. Это обусловлено наличием выступающих частей фундамента, которые не дадут возможности надежного монтажа обтекателя в реальных условиях эксплуатации. Для исследования выбраны значения  $L = 5$  м; 6 м; 7 м; 8 м; 9 м.

Всего было построено семьдесят пять моделей. Общий вид одной из сборочных единиц со звездообразным обтекателем показан на рис. 3.

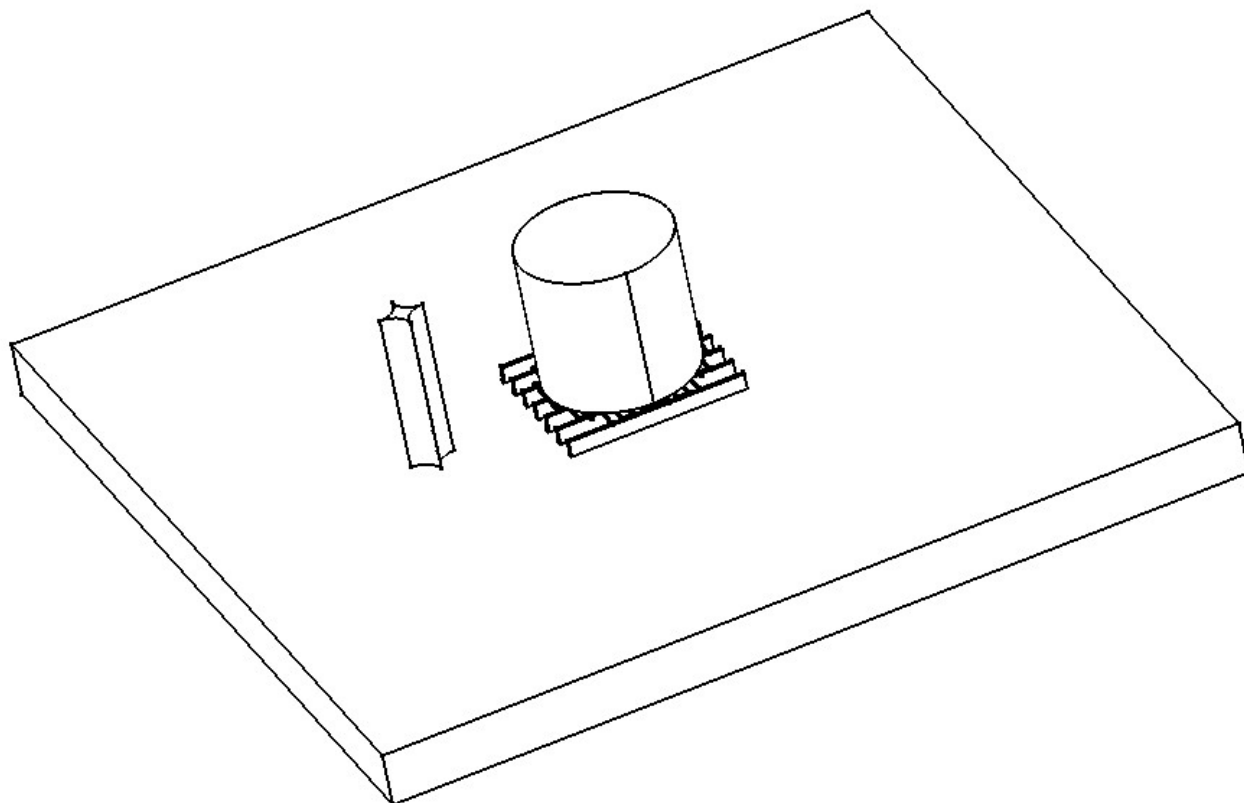


Рис. 3. Общий вид сборочной единицы

Ориентация резервуара была выбрана путем сравнения спутниковых снимков станции Академик Вернадский (рис. 4, а) и ее схемы (рис. 4, б), поскольку спутниковые снимки были сделаны до момента установки нового резервуара на станции. Северное направление на спутниковом снимке проходит по вертикальной оси снизу вверх.

### **Выводы**

Для выбранного резервуара предложено средство понижения ветровой нагрузки, которое уменьшит вероятность быстрого роста дефектов и трещин с наветренной стороны. Построено семьдесят пять сборочных единиц для исследования влияния формы, геометрических характеристик, расстояния между резервуаром и обтекателем.

