

УДК 622.692.23

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА РАБОТЫ АЛЮМИНИЕВЫХ  
ПОНТОНОВ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ  
ПРИ КРЕНЕ**

**DEFINITION FEATURES OF WORK ALUMINUM COVERINGS OF  
VERTICAL STEEL TANKS AT TILT**

Якшибаев И.Н., Лукьянова И.Э.,  
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический  
университет», г. Уфа, Российская Федерация

I.N. Yakshibaev, I.E. Lukyanova,  
FSBEI NPE «Ufa State Petroleum Technological University»,  
Ufa, the Russian Federation

e-mail: ilnartg@gmail.com

**Аннотация.** С целью эффективного сокращения потерь от испарения продуктов хранения в вертикальных стальных резервуарах применяют плавающие покрытия - понтоны. Обладая рядом преимуществ, широкое распространение получили понтоны из алюминиевых сплавов.

Повышение прочностных характеристик конструкции понтона позволяет обеспечить безопасную эксплуатацию резервуаров. Изучение прочностных характеристик подразумевает исследование напряженно-деформированного состояния конструкций понтона. С целью получения характеристик воздействия продукта хранения на понтон, определяющих нагрузку на несущие конструкции плавающего покрытия, определения критических положений для расчета на прочность, разработана математическая модель резервуара, оборудованного понтоном, в программном комплексе FlowVision.

Исследовано поведение понтона при различных эксплуатационных положениях, произведено выявление воздействия продукта хранения на конструкции понтона и определение напряженно-деформированного состояния понтона в зависимости от угла его крена.

Исследование произведено в три этапа. На первоначальном этапе решения задачи конструируется трехмерная модель резервуара. Для создания геометрии расчетной области модели резервуара применена система двух- и трехмерного автоматизированного проектирования и черчения AutoCAD, геометрические размеры приняты на основании ранее подготовленных исходных данных для резервуара РВСП-5000. Моделирование понтона и резервуара произведено отдельно, для последующей возможности варьировать положение тел относительно друг друга. На следующем этапе исследования произведен пошаговый гидрогазодинамический расчет в программе FlowVision. Заключительный этап включает визуализацию результатов гидрогазодинамического расчета, обработку результатов, выводы и заключение.

На основании результатов моделирования и расчета проведен анализ эксплуатационных положений понтона при величине угла крена:  $0^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ . Результаты расчета в работе представлены визуально, в виде графиков распределения параметров давления и модуля скорости, также выполнено документирование значений исследуемых параметров в формате MS Excel.

Проведен анализ результатов и исследований поведения плавающего покрытия в различных положениях, выявлен характер поведения понтона при воздействии продукта хранения.

Результаты гидрогазодинамического расчета отражают воздействие продукта хранения на плавающее покрытие резервуара в процессе эксплуатации. Исследования в ПК FlowVision способствуют не только изучению «поведения» понтона в резервуаре, но и моделированию напряженного состояния конструкций понтона из алюминиевых сплавов, наиболее приближенного к реальным условиям эксплуатации.

**Abstract.** The floating coverings are used in vertical steel tanks to reduce the losses of the products stored there. Having better features the coverings of aluminum alloys have become wide-spread.

Increasing the strength characteristics of the covering structure ensures the safe operation of vessels.

The strength characteristics study involves the stress-strain state study of the coverings structures.

In order to receive the characteristics of the impact of the stored product on the covering determining the load on the supporting structures of the floating cover, determine the critical provisions for the calculation of the strength, the mathematical model of the tank equipped by covering was made in the software package FlowVision.

The behavior of the floating covering in various operational positions was examined and the impact of the stored product on the covering design and the definition of the stress-strain, depending on the angle of slant were determined.

The study was made in three stages. At the initial stage of the problem solving we constructed the three-dimensional model of the tank.

For creating the geometry of the computational model of the tank the system of two-and three-dimensional computer-aided design and drafting AutoCAD was used, the geometric sizes were accepted on the basis of previously compiled baseline data for tank RVSP-5000.

The floating covering and tank modeling was made separately to have an ability to vary the position of bodies relative to each other.

At the next stage the incremental hydrogazodynamical calculation in FlowVision program was made. The final stage involves visualizing the results of hydrogazodynamical calculation processing, findings and conclusions.

Based on the results of simulation and calculation the analysis of the operational positions of the covering at the rate of angle  $0^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ . The results of calculation are shown visually as graphs of distribution parameters of

pressure and speed module also we made the documentation values of investigated parameters in MS Excel format.

The analysis of the results and studies of the floating cover behavior in different positions revealed the behavior of the covering influenced by the product stored.

Hydrogazodynamical calculation results reflect the impact of the product stored on the tank floating cover during the exploitation.

The research in PC FlowVision contributes not only to the study of the floating covering "behavior" in the tank , but also to model the stress state structures floating coverings, aluminum alloys, closest to the actual operating conditions.

**Ключевые слова:** резервуар, понтон, алюминий, модель, нагрузка, конструктивная схема, крен.

**Key words:** tank, floating covering, aluminum, model, load, constructive scheme, tilt.

Развитие резервуаростроения, средств защиты от коррозии и старения, а также других производственных направлений, способствует повышению состояния защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий, в том числе на таких опасных производственных объектах как вертикальные стальные резервуары. С целью эффективного сокращения потерь от испарения продуктов хранения на вертикальных стальных резервуарах применяют плавающие покрытия. Одними из наиболее распространенных плавающих покрытий являются понтоны из алюминиевых сплавов [1].

Согласно требованиям, конструкция понтона должна обеспечивать его работоспособность по всей высоте резервуара без перекосов и вращения. Высотные отметки периферийной стенки (борта) и патрубков должны

превышать уровень продукта не менее чем на 100 мм при любых условиях потери герметичности [2].

Тем не менее, внутренние плавающие покрытия подвержены заклиниванию и перекосу в процессе эксплуатации, небольшой крен или утечка продукта хранения на поверхность могут привести к потоплению, деформации и разрушению плавающего покрытия [3].

Повышение прочностных характеристик конструкции понтона позволяет обеспечить безопасную эксплуатацию резервуаров. Изучение прочностных характеристик подразумевает исследование напряженно-деформированного состояния конструкций понтона. С целью получения характеристик воздействия продукта хранения на понтон, определяющих нагрузку на несущие конструкции плавающего покрытия, определения критических положений для расчета на прочность, разработана математическая модель РВСП-5000 – резервуара, оборудованного понтоном, в программном комплексе (ПК) FlowVision.

Поставлена задача исследования поведения понтона при различных эксплуатационных положениях, выявления воздействия продукта хранения на конструкции понтона и определение критических положений, в зависимости от угла крена.

На первоначальном этапе решения задачи конструируем трехмерную модель резервуара. Для создания геометрии расчетной области модели резервуара используем систему двух- и трехмерного автоматизированного проектирования и черчения AutoCAD, геометрические размеры приняты на основании ранее составленных исходных данных для резервуара объемом 5000 м<sup>3</sup> (таблица 1).

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

№	Геометрический параметр	Значение	Ед. изм.	Обознач.
1	Радиус резервуара	22,8	м	(Rp)
2	Высота резервуара	12,0	м	(Hp)
3	Радиус понтона	22,4	м	(Rp)
4	Высота понтона	0,3	м	(Hp)
5	Масса понтона	2050	кг	(mp)

Настил понтона формируется из силовых профилей швеллерного сечения  $30 \times 50$  мм, с толщиной стенки 3 мм, образующих параллельные ряды, перпендикулярные рядам поплавков, на расстоянии 1170 мм между рядами. Силовые профили опираются на поплавки и крепятся к ним хомутами. Диаметр поплавков 220 мм. На силовые профили внахлест укладываются ленты настила и прижимными профилями притягиваются болтами с шагом 125 мм.

В рабочем пространстве «3D моделирование» с помощью твердых тел создаем модель резервуара с понтоном (рисунок 1).

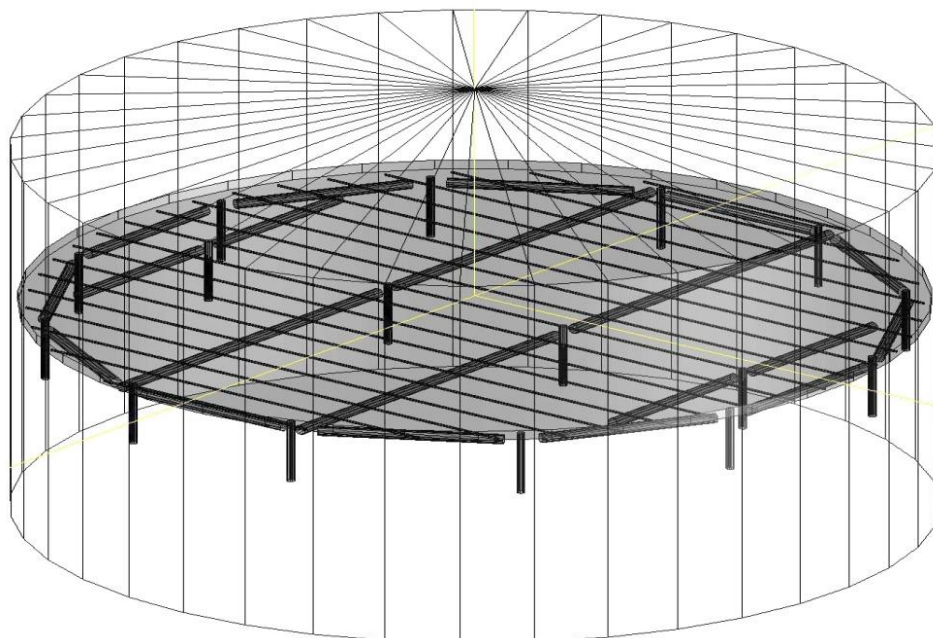


Рисунок 1. Модель резервуара с понтоном в ПК AutoCAD

Для импортирования построенной модели в FlowVision, используем команду «Экспорт» в формат \*.stl. Экспортирование понтона и резервуара производится отдельно, для последующей возможности варьировать положение тел относительно друг друга.

На следующем этапе исследования произведем и рассмотрим пошагово гидрогазодинамический расчет в программе FlowVision:

1. В рабочем пространстве FV импортируем модель резервуара, созданную в AutoCAD, активируем пункт меню «Создать», указываем путь

к созданному файлу с расширением \*.stl. После этого в правой части окна рабочего пространства появляется изображение резервуара, разделенное посередине плоскостью.

2. Далее необходимо установить понтон в эксплуатационное положение. Правой кнопкой «мыши» активируем пункт меню «Фильтры» и выбираем: загрузить ранее экспортированный файл понтона. Следующим действием задаем параметры понтона, согласно исходным данным. В графе «масса» вводим массу понтона – 2050 кг, в графе «движение» устанавливаем галочку возле оси Z, в графе «текущее положение» в оси Z ставим высоту, на которой находится понтон – 6 м (рисунок 2).

3. Для создания математической модели необходимо выделить правым кликом узел дерева проекта «Подобласть#1». В появившемся контекстном меню выбираем пункт «Изменить модель», далее в открывшемся окне устанавливаем один из пунктов списка «Модель» - «Свободная поверхность».

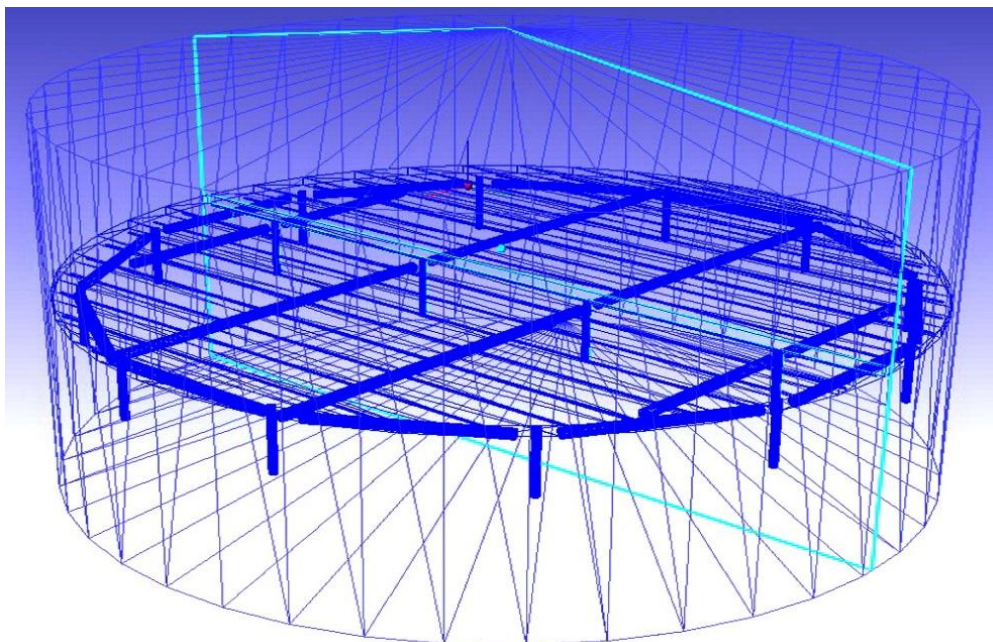


Рисунок 2. Модель резервуара РВСП-5000 в ПК FlowVision

4. Задаем физические параметры. Производим моделирование продукта хранения и воздуха в надпонтонном пространстве. Через контекстное

меню узла дерева «Вещество 0», продукт хранения (нефть), открыть окно свойства вещества, выбрать нужные параметры, задаем плотность нефти  $800 \text{ кг/м}^3$ . Данные воздуха загружаем из базы, для этого щелкаем правой кнопкой мыши по «Вещество 1» (воздух) и выбираем загрузить из базы, активируем пункт «Воздух». Для удобства переименовываем «Вещество 0» и «Вещество 1» на «Нефть» и «Воздух» соответственно.

5. Ввод параметров модели. Заходим в свойства «Параметры модели». В графе «Гидростатика» в пункте «Z уровень жидкости» вводим высоту 6 м, на которой находится понтон. В графе «Уровень жидкости» в пунктах «X начальный уровень жидкости» и «Y начальный уровень жидкости» вводим значение не менее диаметра расчетной области 50. В пункте «Z начальный уровень жидкости» высоту налива продукта 5,8 м.

6. Установка граничных условий. В ветви дерева «Гр. условия» необходимо выделить соответствующую границу в дереве. Далее открыть окно редактирования граничного условия, либо через пункт контекстного меню «Редактировать». В нашем случае имеет место два граничных условия: резервуар и понтон. Оба имеют модель «свободная поверхность».

7. Ввод общих параметров. В ветви дерева «Задачи», открываем свойства «Общих параметров». Во вкладке «Гравитация» устанавливаем значение вектора гравитации по оси OZ «-9.81». Значение остальных параметров оставляем по умолчанию.

8. Построение расчетной сетки. Во вкладке «Начальная сетка» дерева препроцессора, открываем свойства объекта. Задаем в «X-направление» число ячеек 200. После чего нужно нажать на кнопку «Равном.» («равномерная сетка»). То же самое следует сделать с сеткой в «Y-направление» и «Z-направление» в том же окне. В случаях, когда требуется сгустить сетку, в некоторых частях расчетной области следует произвести визуализацию расчетной сетки, для чего необходимо нажать соответствующую кнопку в окне свойств сетки.



9. Ввод параметров численного расчета осуществляем с помощью вкладки «Шаги» в окне свойств узла дерева препроцессора «Общие параметры». Основные параметры расчета — «Макс. шаг» и «CFL» — определяют выбор программой расчетного шага по времени. CFL — это число Куранта, его физический смысл можно трактовать как максимальное число ячеек сетки, которое малый объем жидкости может преодолеть за один шаг по времени. По умолчанию  $CFL = 1$ , и в этом случае объем смещается по времени не более чем на одну ячейку. Для повышения скорости расчета можно задавать и другие значения. Параметр «Макс. шаг» обладает большим приоритетом, чем CFL, поэтому управлять шагом по времени рекомендуется именно через этот параметр. Оставляем значение параметра «Макс. шаг» по умолчанию (равное 1).

10. Расчет задачи первоначально выполняется командой «Построить расчетную сетку и начать процесс расчета», в дальнейшем используем команду «Начать процесс вычисления». В процессе расчетов следует обращать внимание на нижнюю часть окна FlowVision, где отображаются текущее время, шаг по времени и (в столбце «Погрешность») максимальные погрешности в вычислении давлений и скоростей. Для отображения окна «Ошибки», активируем его через пункт меню «Вид», так же активируем «Окно логофайла». Расчет прекращается командой «Прекращение расчета после текущей операции».

11. Визуализация результатов расчета. Постпроцессор предоставляет большой выбор методов визуализации скалярных и векторных переменных на различных геометрических объектах, а также позволяет сохранять данные в файл для обработки другими средствами. Для обработки результатов расчета, в работе используем следующие методы визуализации переменных: 1. Характеристики, 2. Векторы 3. Двумерный график [4].

12. Запись параметров в файл в слое «Характеристики». Параметры наблюдения в нашем случае «Модуль скорости» и «Давление». Для

отслеживания изменений параметров в меню «Гр. условия» (понтон) создадим «Супергруппу» и соответствующей командой экспортируем ее в «Постпроцессор». В дереве «Постпроцессора» папке «Объекты» правым кликом на «Супергруппе» создаем слой характеристики, с требуемыми параметрами. На закладке «Сохранить в файл» указываем место хранения и имя файла.

13. Визуализация векторного поля в слое «Вектора». Слой выглядит как множество точек начала векторов с выходящими из них отрезками. Направление отрезка совпадает с направлением векторного поля в начале отрезка, а длина пропорциональна модулю поля в этой точке. На плоскости начала векторов расположены в узлах равномерной прямоугольной сетки. Для визуализации поля, в папке «Постпроцессор» находим «Шаблон плоскости», правым кликом выбираем «Создать слой». Устанавливаем переменную - «Скорость», метод - «Вектора».

14. Построение двумерного графика. Слой Двумерный график выводит на экран график скалярной переменной вдоль выбранного в трехмерном пространстве луча. В плоскости графика отображаются длина оси абсцисс, максимальное значение переменной, минимальное значение переменной. Для создания графика произвести правый клик на элементе «Шаблон Плоскости» в папке «Объекты», в меню «Постпроцессора» выбираем «Создать слой», в контекстном меню задаем «Переменную» - «Давление», задаем «Метод» - «Двумерный график».

15. Анализ результатов расчета. Анализ может производиться как в процессе расчета, так и после его окончания. На основании результатов моделирования и расчета проведем анализ эксплуатационных положений понтона при крене. Для исследования угол крена  $\alpha$  примем  $0^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ . При моделировании различных положений, меняем угол крена плавающего покрытия во вкладке «Текущее положение». Важно так же следить за положением понтона по высоте при изменении крена, чтобы в текущем положении понтон не оказался изначально под продуктом

хранения, так как программный комплекс располагает геометрическое тело по высоте относительно его вершины. При крене  $0^\circ$  высшей точкой будет поверхность понтона - настил, именно он будет располагаться на отметке 6 м, при крене отличном от  $0^\circ$ , высшей точкой будет являться грань, которую образует настил и «периферийная юбка», соответственно высоту задаем так, чтобы ось симметрии плавающего покрытия находилась на отметке 6 м.

Положение 1 – горизонтальное, угол крена  $0^\circ$ . Рабочее положение плавающего покрытия, обеспечивающее безопасную эксплуатацию. Оценка сходимости решения проведена с помощью записи параметров в файл в слое «Характеристики». Расчетные параметры в «Положении 1» стабильны и не меняются со временем, что свидетельствует о нормальной работе понтона.

Положение 2 – угол крена  $1^\circ$ . Плавающее покрытие незначительно выведено из горизонтального положения работы. Угол крена в процессе расчета сокращается от  $1^\circ$  до  $0^\circ$ , что объясняется высоким запасом плавучести понтона и малым углом крена. Появляется движение продукта хранения, что связано с процессом налива нефтепродукта на поверхность плавающего покрытия, что наблюдается на графике распределения скорости. На графике распределения давления также появляются значения, свидетельствующие о выводе плавающего покрытия из горизонтального рабочего положения.

Оценка сходимости решения проведена с помощью записи параметров в файл MS Excel в слое «Характеристики». Расчетные параметры в «Положении 2» нестабильны и меняются со временем, что свидетельствует о нарушении нормальной работы понтона при небольшом крене. Однако, следует учесть фактор идеальных условий математической модели.

Положение 3 – угол крена  $5^\circ$ . Плавающее покрытие выведено из горизонтального положения. Угол крена в процессе расчета сокращается от  $5^\circ$  до  $0^\circ$ , что объясняется высоким запасом плавучести понтона и малым

углом крена. Появляется более интенсивное движение продукта хранения, в сравнении с «Положением 2», что связано также с процессом налива нефтепродукта на поверхность плавающего покрытия и наблюдается на графике распределения скорости. На графике распределения давления также появляются значения, свидетельствующие о выводе плавающего покрытия из горизонтального рабочего положения.

Оценка сходимости решения проведена с помощью записи параметров в файл MS Excel в слое «Характеристики». Расчетные параметры в «Положении 3» нестабильны и меняются со временем, что свидетельствует о нарушении нормальной работы понтона при крене. Плавающее покрытие тонет в процессе расчета, что является существенным фактором вывода понтона из эксплуатационного положения, что при реальных условиях эксплуатации приведет к потоплению или заклиниванию.

Положение 4 – угол крена  $10^\circ$ . Плавающее покрытие выведено из горизонтального положения работы. Угол крена в процессе расчета сокращается от  $10^\circ$  до  $0^\circ$ , что объясняется высоким запасом плавучести понтона и малым углом крена. Появляется более интенсивное движение продукта хранения, в сравнении с «Положением 3», что связано с активным процессом налива нефтепродукта на поверхность плавающего покрытия и наблюдается на графике распределения скорости. На графике распределения давления также появляются значения, свидетельствующие о выводе плавающего покрытия из горизонтального рабочего положения.

Оценка сходимости решения проведена с помощью записи параметров в файл MS Excel в слое «Характеристики». Расчетные параметры в «Положении 4» нестабильны и меняются со временем, что свидетельствует о нарушении нормальной работы понтона при крене. Плавающее покрытие, существенно, подвержено воздействию продукта хранения, что является существенным фактором вывода понтона из эксплуатационного положения, что при реальных условиях эксплуатации приведет к потоплению или заклиниванию.

16. Завершение расчета. Когда график рассчитываемых параметров в окне «Ошибок» обретет постоянные значения с течением времени, это свидетельствует о завершении расчета.

Результаты гидрогазодинамического расчета свидетельствуют, что угол крена прямопропорционально отражает воздействие продукта хранения на плавающее покрытие резервуара. При увеличении значения угла крена от  $0^\circ$  до  $10^\circ$  в процессе расчета, повышается волнение в продукте хранения и, как следствие, воздействие на понтон. Вывод из состояния равновесия приводит понтон к критическому положению.

В процессе обработки результатов определим значение усилий и нагрузок, воздействие которых наблюдалось в процессе исследования модели.

При значении крена  $1^\circ$  и плотности продукта хранения  $800 \text{ кг/м}^3$  наибольшая высота уровня продукта составляет  $h_1=0,195 \text{ м}$ , следовательно, нагрузка при поступлении на поверхность понтона равна  $1,56 \text{ кН/м}^2$ .

Рассчитаем усилие на понтон от налива нефтепродукта:

$$F_1 = P_1 \cdot \frac{\pi R^2}{2} \quad (1)$$

где  $P_1$  – нагрузка, создаваемая продуктом хранения,  $1,56 \text{ кН/м}^2$ ;

$\frac{\pi R^2}{2}$  – площадь пятна разлива продукта хранения;

$$F_1 = 1,56 \text{ кН/м}^2 \cdot \frac{\pi \cdot 11,4^2}{4} = 159,15 \text{ кН};$$

Определим значение нагрузки распределенной по площади пятна налива продукта хранения:

$$P_{11} = \frac{159,15}{204,03} = 0,78 \text{ кН/м}^2;$$

где  $F_1$  – усилие, создаваемое продуктом хранения,  $159,15 \text{ кН}$ ;

$\frac{\pi R^2}{2}$  – площадь пятна разлива продукта хранения, (на половину поверхности понтона);

При значении крена  $5^\circ$  и плотности продукта хранения  $800 \text{ кг/м}^3$  наибольшая высота уровня продукта составляет  $h_2 = 0,976 \text{ м}$ , следовательно, нагрузка при поступлении на поверхность понтона равна  $7,81 \text{ кН/м}^2$ .

Рассчитаем усилие на понтон от налива нефтепродукта:

$$F_2 = P_2 \cdot \frac{\pi R^2}{2} \quad (2)$$

где  $P_2$  – нагрузка, создаваемая продуктом хранения,  $7,81 \text{ кН/м}^2$ ;

$\frac{\pi R^2}{2}$  – площадь пятна разлива продукта хранения;

$$F_2 = 7,81 \text{ кН/м}^2 \cdot \frac{\pi \cdot 11,4^2}{4} = 796,56 \text{ кН};$$

Определим значение нагрузки распределенной по площади пятна налива продукта хранения:

$$P_{21} = \frac{796,56}{204,03} = 3,90 \text{ кН/м}^2;$$

где  $F_1$  – усилие, создаваемое продуктом хранения,  $796,56 \text{ кН}$ ;

$\frac{\pi R^2}{2}$  – площадь пятна разлива продукта хранения, (на половину поверхности понтона);

При значении крена  $10^\circ$  и плотности продукта хранения  $800 \text{ кг/м}^3$  наибольшая высота уровня продукта составляет  $h_3=1,945 \text{ м}$ , следовательно, нагрузка при поступлении на поверхность понтона равна  $15,56 \text{ кН/м}^2$ .

Рассчитаем усилие на понтон от налива нефтепродукта:

$$F_3 = P_3 \cdot \frac{\pi R^2}{2} \quad (3)$$

где  $P_3$  – нагрузка, создаваемая продуктом хранения,  $15,56 \text{ кН/м}^2$ ;

$\frac{\pi R^2}{2}$  – площадь пятна разлива продукта хранения;

$$F_3 = 15,56 \text{ кН/м}^2 \cdot \frac{\pi \cdot 11,4^2}{4} = 1587,41 \text{ кН};$$

Определим значение нагрузки распределенной по площади пятна налива продукта хранения:

$$P_{31} = \frac{1587,41}{204,03} = 7,78 \text{ кН} / \text{м}^2;$$

где  $F_3$  – усилие, создаваемое продуктом хранения, 1587,41 кН;

$\frac{\pi R^2}{2}$  – площадь пятна разлива продукта хранения, (на половину поверхности понтона).

На основании полученных значений построим графики зависимости высоты налива продукта хранения -  $h$ , усилий -  $F$  и нагрузки -  $P$  в зависимости от угла крена –  $\alpha$  (рисунок 3-5).

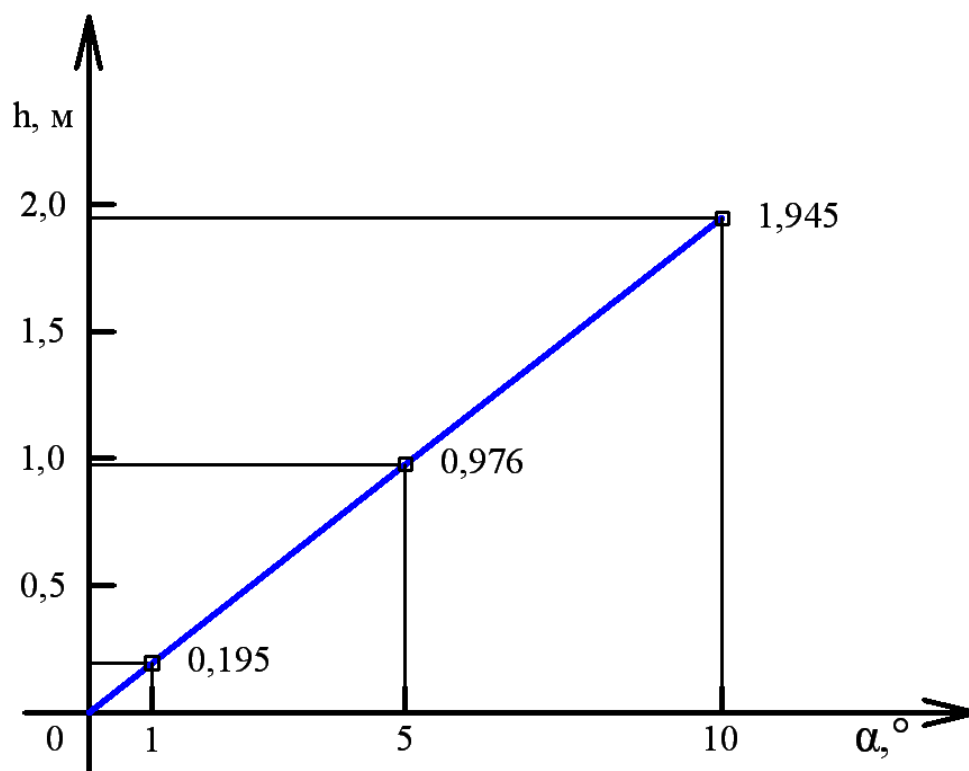


Рисунок 3. График зависимости высоты налива продукта хранения от величины угла крена

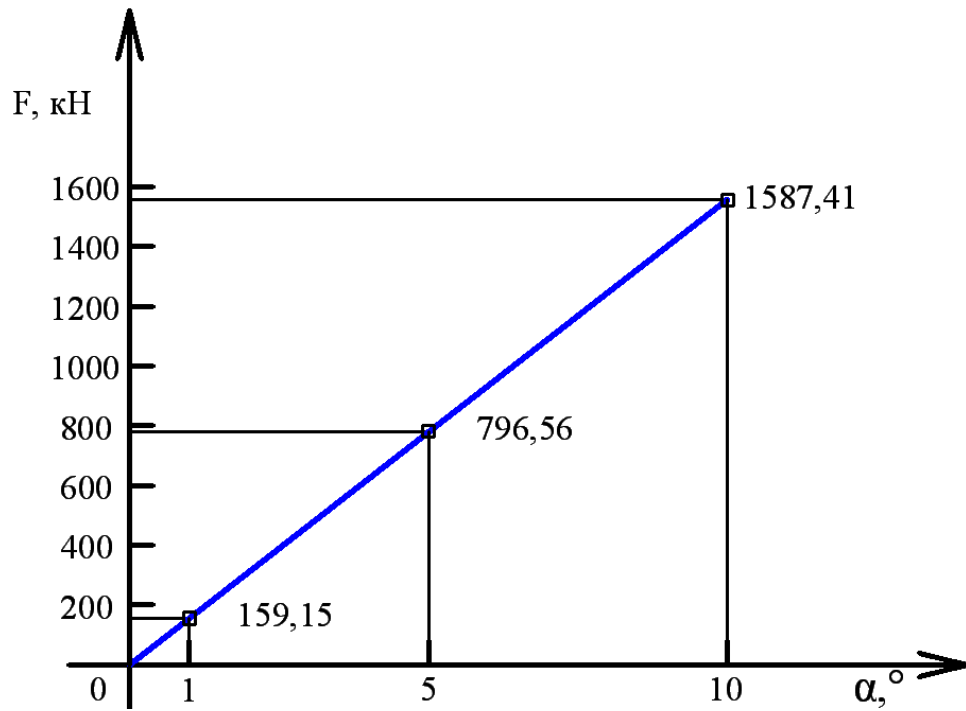


Рисунок 4. График зависимости усилий от величины угла крена

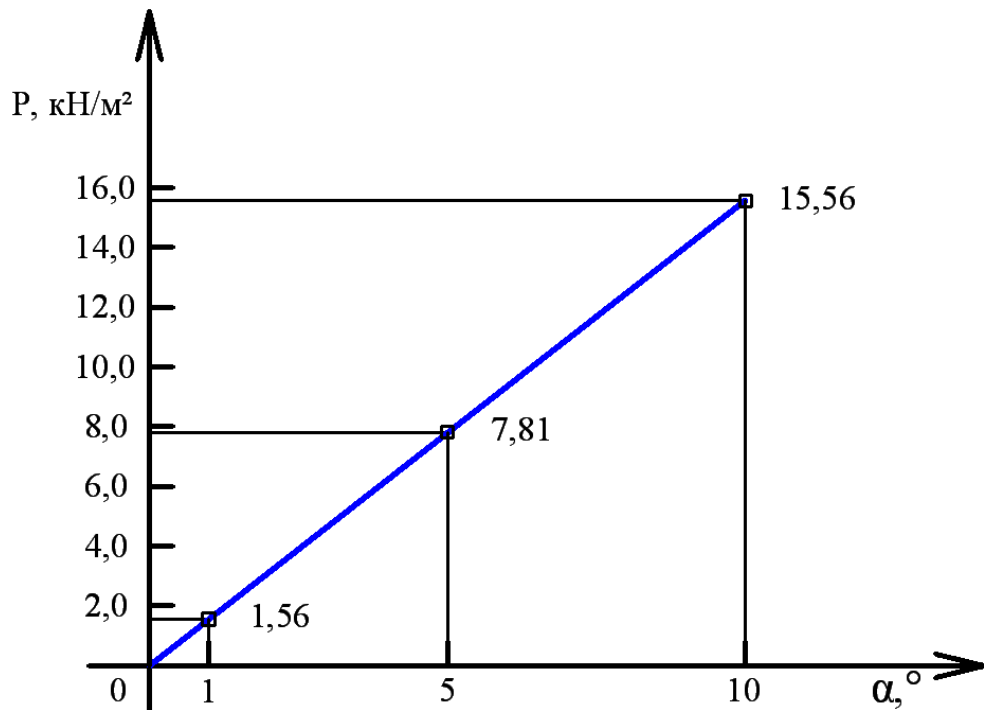


Рисунок 5. График зависимости нагрузки от величины угла крена

Графическое представление наглядно демонстрирует, что при увеличении угла крена от  $0^\circ$  до  $10^\circ$ , в процессе расчета, повышается волнение в продукте хранения и, как следствие, воздействие на понтон.

В процессе расчета понтон возвращается в горизонтальное положение, что объясняется значительным запасом плавучести понтона. В условиях



математического моделирования крен плавающих покрытий ликвидируется за счет высокой остойчивости. При эксплуатации в реальных условиях угол крена оказывает значительное воздействие на конструкцию понтона, выход из горизонтального положения, налив продукта хранения на поверхность. Затухающие колебания понтона приведут к заклиниванию, деформации либо к разрушению понтона [5]. При увеличении площади плавающего покрытия увеличивается и сила поверхностного натяжения, препятствующая возникновению колебательных движений плавающего покрытия и уменьшающая кренящий момент, однако и это не позволяет исключить возникновение крена при эксплуатации.

### **Выводы**

На основании расчетов и анализа результатов можно утверждать, что исследования в ПК FlowVision способствуют не только изучению «поведения» понтона в резервуаре, но и моделированию напряженного состояния конструкций понтона из алюминиевых сплавов, наиболее приближенно к реальным условиям. Комплекс нагрузок, воздействующих на плавающее покрытие, такие как гидрогазодинамические нагрузки, нагрузка от собственного веса понтона формируют различные сочетания нагрузок, отличающиеся как по значению, так и по характеру и направлению воздействия. Результаты, полученные в процессе исследования, являются неотъемлемыми данными при разработке методов повышения работоспособности понтонов из алюминиевых сплавов.

### Список используемых источников

1 Резервуары для нефти и нефтепродуктов: Конструкции и оборудование / Мустафин Ф.М. [и др.]. М.: Недра, 2010. Т.1. 480 с.

2 ГОСТ 31385-2008 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. М.: «Стандартинформ», 2010. 53 с.

3 Aboveground Storage Tanks / Philip E. Myers, Chevron Research and Technology, McGraw-Hill, 1997. 690 p.

4 Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа: Уч. пособие / Кондратин Т.В. [и др.]. М.: МФТИ, 2005. 104 с.

5 Веревкин С.И., Ржавский Е.Л. Повышение надежности резервуаров, газгольдеров и их оборудования. М.: Недра, 1980. 284 с.

### References

1 Rezervuary dlja nefti i nefteproduktov: Konstrukcii i oborudovanie / Mustafin F.M. [i dr.]. M.: Nedra, 2010. T.1. 480 s. [in Russian].

2 GOST 31385-2008 Rezervuary vertikal'nye cilindricheskie stal'nye dlja nefti i nefteproduktov. Obshhie tehicheskie uslovija. M.: «Standartinform», 2010. 53 s. [in Russian].

3 Aboveground Storage Tanks / Philip E. Myers, Chevron Research and Technology, McGraw-Hill, 1997. 690 p. [in English].

4 Primenenie paketov prikladnyh programm pri izuchenii kursov mehaniki zhidkosti i gaza: Uchebnoe posobie / Kondratin T.V. [i dr.]. M.: MFTI, 2005. 104 s. [in Russian].

5 Povyshenie nadezhnosti rezervuarov, gazgol'derov i ih oborudovanija / S.I. Verevkin, E.L. Rzhavskij. M.: Nedra, 1980. 284 s. [in Russian].

## **Сведения об авторах**

### **About the authors**

Якшибаев И.Н., аспирант кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

I.N. Yakshibaev, Postgraduate Student of the Chair «Construction and Repair of Oil and Gas Pipelines and Storages» FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: [ilnartg@gmail.com](mailto:ilnartg@gmail.com)

Лукьянова И.Э., д-р техн. наук, профессор кафедры «Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

I.E. Lukyanova, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Construction and Repair of Oil and Gas Pipelines and Storages» FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: [iri-lou@mail.ru](mailto:iri-lou@mail.ru)