

ВОПРОСЫ РАСЧЕТА СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ПЛАВАЮЩУЮ КРЫШУ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ



УДК 630*432.1



В.В. Косяков

начальник отдела по проектированию резервуарных парков, филиал ОАО «Гипротрубопровод» – «Уфагипротрубопровод», г. Уфа

KosjakovVV@gtpufa.gtp.transneft.ru



Р.Ф. Рашитов

к.т.н., инженер 1-й категории отдела по проектированию резервуарных парков, филиал ОАО «Гипротрубопровод» – «Уфагипротрубопровод», г. Уфа

RashitovRF@gtpufa.gtp.transneft.ru

Ключевые слова: резервуар, плавающая крыша, расчетное сочетание нагрузок, высота борта плавающей крыши, снеговая нагрузка.

В статье приводятся методологические принципы расчета снеговых нагрузок на плавающую крышу вертикального цилиндрического стального резервуара для нефти и нефтепродуктов по РД-23.020.00-КТН-079-09, ГОСТ 31385-2008 и СТО-СА-03-002-2009. Дается краткое сравнение действующих методик и обозначены основные вопросы при расчете снеговых нагрузок. На основе полученных решений по рассматриваемым методикам проведен сравнительный анализ применительно к определению погружения и высоты борта плавающей крыши.

В настоящее время в ОАО «АК «Транснефть» эксплуатируются более 90 резервуаров с плавающей крышей объемом по строительному номиналу 50 000 м³.

Резервуар с плавающей крышей – это вертикальный стальной резервуар, внутри которого на поверхности нефти или нефтепродукта находится плавающая крыша. Такие резервуары обо-

рудуются по окружности между стенкой резервуара и плавающей крышей затвором с целью уплотнения кольцевого зазора, сокращения потерь от испарения нефти и повышения пожарной и экологической безопасности при эксплуатации вертикальных стальных резервуаров с плавающей крышей (РВСПК).

При эксплуатации РВСПК возникает ряд сложностей, например скопление большого количества снега на плавающей крыше. Поэтому необходимо определить допустимую величину погру-

жения плавающей крыши при эксплуатации в зимнее время года. Также в зимний период значительная величина снежного покрова на плавающей крыше, особенно при неравномерном расположении снега, может привести к перекосу плавающей крыши и ее заклиниванию.

Во время эксплуатации очень важно контролировать высоту снежного покрова, которая в свою очередь влияет на погружение плавающей крыши. Нормативным документом [1] регламентируется допустимая высота снежного покрова для резервуаров, находящихся в эксплуатации, в зависимости от снеговых районов Российской Федерации. Допустимая высота снежного покрова определена как для равномерного, так и для неравномерного варианта распределения снега на плавающей крыше.

Методики и рекомендации по расчетам плавающих крыш приведены в следующих действующих нормативных документах: ГОСТ 31385-2008 [3], РД-23.020.00-КТН-079-09 [2], СТО-СА-03-002-2009 [4].

Однако по методикам [2, 3] нельзя рассчитать угол крена плавающей крыши и произвести проверку на заклинивание.

Рассмотрим вышеперечисленные методики и рекомендации применительно к определению величины погружения плавающей крыши и ее крена при неравномерном нагружении.

Согласно [2] плавающая крыша рассчитывается на плавучесть и непотопляемость при плотности нефти, равной 700 кг/м³. Проверка плавучести плавающей крыши производится исходя из условия, что все действующие нагрузки приложены в центре тяжести крыши, а выталкивающая сила приложена вертикально вверх в центре тяжести объема крыши, погруженного в жидкость.

Запас плавучести плавающих крыш по [2] должен быть не менее 2, то есть

$$K_{\text{сп}} = \frac{b}{T} \geq 2, \tag{1}$$

где b – высота наружного борта плавающей крыши, м; T – мак-

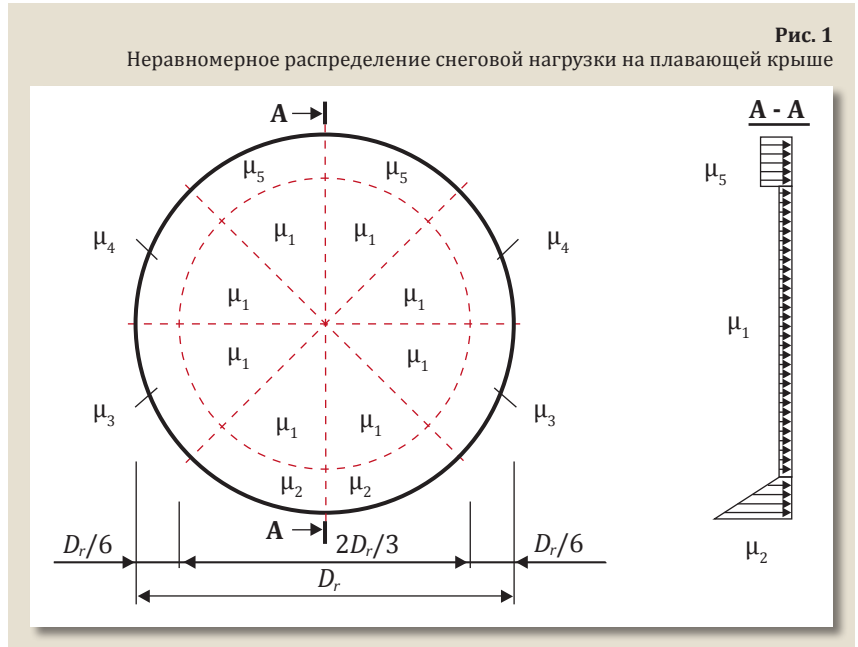


Рис. 1 Неравномерное распределение снеговой нагрузки на плавающей крыше

симальная глубина погружения крыши, м.

Глубина погружения двудечной плавающей крыши определяется по формуле

$$T = \frac{\gamma_f G_{\text{пк}} + F_{\text{тр}} + Q_{\text{сн}} - Q_{\text{в}}}{\pi \gamma_{\text{ж}} R_1^2},$$

где γ_f – коэффициент надежности по нагрузке собственного веса; $G_{\text{пк}}$ – вес плавающей крыши вместе с катушкой лестницей и оборудованием (водоспуск, затвор и др.), Н; $F_{\text{тр}}$ – сила трения уплотняющего затвора о стенку, Н; $Q_{\text{сн}}$ – полное расчетное значение снеговой нагрузки, Н; $Q_{\text{в}}$ – ветровая нагрузка на плавающую крышу, Н; $\gamma_{\text{ж}}$ – удельный вес хранимого продукта, кг/м³; R_1 – радиус плавающей крыши, м.

При расчете погружения полное расчетное значение снеговой нагрузки на плавающую крышу составляет

$$Q_{\text{сн}} = \mu S_g \pi R^2,$$

где μ – коэффициент перехода; S_g – расчетное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, кПа; R – радиус резервуара, м.

При расчете погружения ветровая нагрузка на плавающую крышу определяется как

$$Q_{\text{в}} = \omega_0 S C_p \gamma_f,$$

где ω_0 – нормативное значение ветрового давления; S – пло-

щадь плавающей крыши, м²; C_p – аэродинамический коэффициент; γ_f – коэффициент надежности по ветровой нагрузке.

Определение погружения по [3, 4] в положении на плаву производится для трех сочетаний нагрузок:

- собственный вес крыши и равномерная снеговая нагрузка;
- собственный вес крыши и неравномерная снеговая нагрузка;
- собственный вес крыши и равномерная снеговая нагрузка для крыши с нарушенной герметичностью.

По [3, 4] расчетное превышение верхней отметки бортового листа крыши надуровнем продукта (при его плотности 700 кг/м³) должно быть не менее 150 мм.

В соответствии с [4] расчет плавающей крыши предусматривает создание компьютерной модели на программных комплексах, реализующих методы конечных элементов.

При расчете по сочетанию нагрузок № 2 распределение неравномерной снеговой нагрузки по поверхности плавающей крыши приведено на рис. 1 [4].

Коэффициенты, показанные на рис. 1, определяются следующим образом

$$\mu_1 = 0,52 - 0,7H_s/D,$$

$$\mu_2 = 1,77 + 1,06H_s/D,$$

Рис. 2
Устойчивое равновесие плавающей крыши при надповерхностном плавании

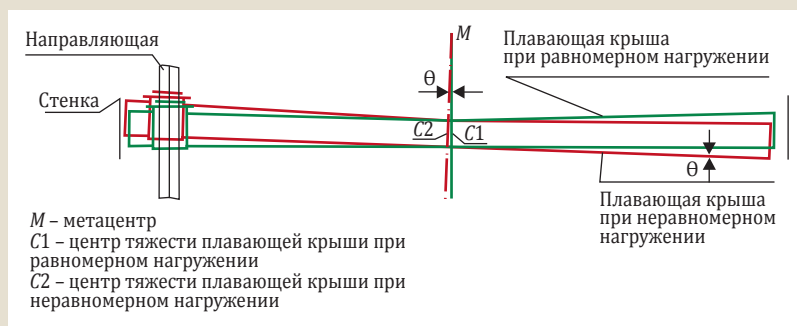
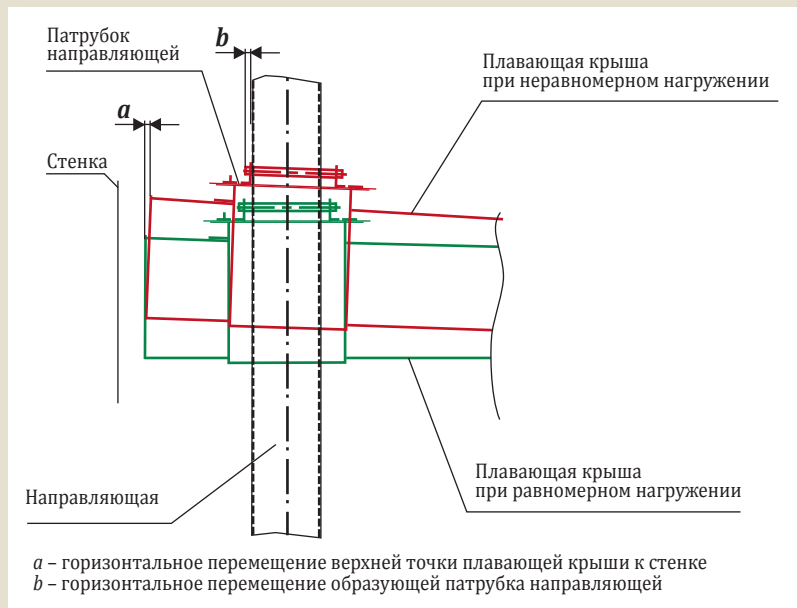


Рис. 3
Положение плавающей крыши при крене



сечения линии действия архимедовой силы с осью плавания) лежал выше центра тяжести тела $C2$, то есть чтобы метацентрическая высота H (расстояние между точками M и $C2$) была положительна (рис. 2).

Определяется объем вытесненной жидкости и угол крена плавающей крыши от воздействия момента. Затем вычисляется горизонтальное перемещение образующей патрубка направляющей и горизонтальное перемещение верхней точки плавающей крыши к стенке (рис. 3). В случае если горизонтальное перемещение образующей патрубка направляющей не превышает величины зазора в патрубке направляющей и горизонтальное перемещение верхней точки плавающей крыши к стенке меньше свободного хода затвора, то заклинивания плавающей крыши не произойдет.

Определим максимальное погружение плавающей крыши по обозначенным методикам.

В качестве примера рассмотрим вертикальный стальной резервуар для нефти строительным номиналом 50 000 м³. Диаметр резервуара – 60,7 м. Высота стенки резервуара – 18,1 м. Тип плавающей крыши – двудечная. Высота борта – 870 мм. Значение расчетной снеговой нагрузки примем по IV снеговому району. Вес плавающей крыши со всеми элементами составляет 3750 кН.

Рассчитанное по методике [2] погружение плавающей крыши составляет 429 мм. Минимальная высота борта плавающей крыши, определяемая из формулы (1), составила 858 мм. Значит, принятая высота борта 870 мм удовлетворяет двукратному запасу плавучести.

По методике [3, 4] расчеты для сочетаний нагрузок № 1, 2, 3 показали, что плавучесть плавающей крыши обеспечивается.

Результаты расчета погружения плавающей крыши по методикам [2] и [3, 4] для всех комбинаций воздействия приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что максимальное погружение плавающей крыши получено для сочетания с неравномерной снеговой нагрузкой и составило 626 мм. Значит,

$$\mu_3 = 0,9\mu_2,$$

$$\mu_4 = 0,8,$$

$$\mu_5 = 1,$$

где H_s – высота стенки резервуара; D – диаметр резервуара.

По сочетанию нагрузок № 3 расчет производится с учетом двух затопленных смежных отсеков. В данном случае затопленные отсеки создают крутящий момент и вызывают крен плавающей крыши.

Рассматриваемые методики также отличаются характером распределения снегового покрова при расчете. По [2] рассматривается только вариант равномерного распределения снега на крыше. Важно отметить, что по методике, описанной в документах [3, 4], при

расчете плавающей крыши необходимо учитывать нагрузки веса снегового покрова при равномерном и неравномерном распределении снеговой нагрузки.

Также отметим, что подробный алгоритм определения угла крена плавающей крыши и проверки ее на заклинивание в нормативных документах [2–4] отсутствует.

Проверка на заклинивание плавающей крыши проводится следующим образом.

При воздействии неравномерной нагрузки возникает момент, стремящийся повернуть плавающую крышу. Для устойчивого равновесия тела при надповерхностном плавании необходимо, чтобы при крене тела (наклоне его оси плавания на угол θ) метацентр M (точка пере-



минимальная высота борта плавающей крыши по методике [3, 4] составляет $626 + 150 = 776$ мм.

Анализ результатов расчета по методикам [2], [3, 4] показывает:

1) в методике [3, 4], в отличие от методики [2], рассмотрено несколько сочетаний нагрузок, а также учитывается характер распределения снегового покрова;

2) величина погружения по методическим рекомендациям [2] меньше, чем по [3, 4] для всех сочетаний нагрузок;

3) величина минимальной высоты борта плавающей крыши по методике [3, 4] составляет 776 мм, по [2] – 858 мм;

4) при принятой высоте борта 870 мм обеспечивается плавучесть плавающей крыши при всех комбинациях (собственный вес, равномерное и неравномерное расположение снега, затопление двух смежных отсеков) по [2], [3, 4];

5) в методике [2] по сравнению с [3, 4] учитывается ветровая нагрузка. Ветровая нагрузка по [2] уменьшает нагрузку на плавающую крышу и, как следствие, погружение плавающей крыши и высоту борта. Однако в

Табл. 1

Результаты расчета погружения плавающей крыши по методикам [2] и [3, 4]

Методика расчета	Сочетание нагрузок	Максимальное погружение, мм	Предельное значение, мм	Превышение борта над продуктом, мм	Заключение о плавучести
[2]	-	429	$870/2 = 435$	441	Обеспечена
[3, 4]	1	542	$870 - 150 = 720$	328	Обеспечена
	2	626	$870 - 150 = 720$	244	Обеспечена
	3	610	870	260	Обеспечена

безветренную погоду ветровая нагрузка отсутствует и тогда может быть не обеспечен запас плавучести для рассматриваемого варианта. В связи с этим считаем, что для адекватности рассматриваемой в методике [2] модели необходимо исключить ветровую нагрузку.

Таким образом, при сравнительном анализе действующих методик по определению погружения плавающей крыши от действия снеговой нагрузки выявлено, что методика [3, 4] учитывает вес снегового покрова при симметричном и несимметричном распределении снега, нарушение герметичности смежных отсеков, не учитывает ветровую нагрузку, то есть более приемлема для расчета.

Поэтому необходима переработка методики [2] в соответствии с требованиями методики [3] и рекомендациями [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ОП-23.020.00-КТН-279-09. Специальный регламент по эксплуатации однодечной и двудечной плавающей крыши резервуаров РВСПК, ЖБРПК в зимний период. М. : ОАО «АК «Транснефть», 2009.
- РД-23.020.00-КТН-079-09. Нормы проектирования стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти объемом 1000–50 000 м³. М. : ОАО «АК «Транснефть», 2009.
- ГОСТ 31385-2008. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия. М. : Стандартинформ, 2010.
- СТО-СА-03-002-2009. Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. М. : НО Ростехэкспертиза, 2009.