

ЭТИ НЕПРЕДСКАЗУЕМЫЕ НЕФТЕПРОДУКТЫ

На первый взгляд, располагая такими современными средствами измерения параметров нефтепродуктов, как измерительная рулетка или метршток второго класса точности, ртутный термометр ТЛ-4 с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$, ареометр АНТ-1 с ценой деления $0,0005 \text{ г/см}^3$, оценить количество нефтепродукта не представляет сложности.

Однако на моей памяти случай, который в свое время заставил меня всерьез усомниться, способны ли перечисленные средства измерения обеспечить необходимую точность при расчете массы нефтепродукта.

Во время одной инвентаризации температура воздуха составила -38°C . День стоял ясный, солнце висело низко над горизонтом, практически перпендикулярно падая на стенки резервуаров. Поднявшись на один из резервуаров, замерной люк которого находился в теневой стороне, мы обнаружили, что температура продукта -35°C . Затем мы поднялись на другой резервуар – копия первого, – и с таким же продуктом. Сделали замеры и обнаружили, что температура продукта ... -25°C .

Между тем удивительного ничего не было: замерной люк этого резервуара находился на освещенной солнцем стороне, что и явилось причиной столь заметного повышения температуры продукта, несмотря на крещенский мороз. Понятно, что при составлении акта инвентаризации температура и плотность продукта для этого резервуара были указаны не его собственные, а такие, какие были замерены в первом из резервуаров. Хотя это и нарушение порядка инвентаризаций, но в подобной ситуации это оправдано.

С тех, бывая на нефтебазах, я первым делом брал в руки схему резервуарного парка и наносил на нее направления сторон света, а также точки расположения замерных люков и сниженных пробоотборников на изображениях резервуаров. И, как оказалось, не зря. Произошел случай, который подтвердил, что даже самые совершенные средства измерений, загострированные и поверенные, вовсе не гарантия получения достоверного результата количества продукта, если при использовании этих средств не проявить некоторую долю сообразительности.

Во время навигации баржи стали регулярно доставлять на нефтебазы получателей известное количество недостат. Недостачи были небольшие, но тем более досадные, поскольку все стороны – и грузоотправитель, и перевозчик, и грузополучатель, – дружно клялись, что к этим недостаткам они не причастны.

Требовалось найти соломоново решение, которое устроило бы всех.

Было выдвинуто несколько гипотез в качестве возможных причин недостат, но все они в ходе проверки были забракованы. Однако все же выяснилось, что для всех случаев недостат справедливо:

- во-первых, плотность продукта при приеме, пересчитанная в соответствии с ГОСТ Р 8.595-2004 к температуре $+15^{\circ}\text{C}$, фактически совпадает с плотностью продукта при $+15^{\circ}\text{C}$, указанной в паспорте продукта;
- во-вторых, этого нельзя было сказать о плотности при отгрузке: для нее расчетная величина при $+15^{\circ}\text{C}$ оказывалась значимо выше паспортной. Завышение плотности при отпуске была таково, что оно как раз и могло быть причиной недостачи при приеме продукта.

После установления данного факта все внимание было обращено на процедуру налива, точнее, на детали, сопутствовавшие наливу.

Для одного из подозрительных случаев детали были таковы:

- налив продукта (дизельное топливо) из резервуара № 1 продолжался с **9 утра до 9 вечера**;
- сниженный пробоотборник, имеющий вертикальную конструкцию, располагается с западной стороны резервуара;
- резервуар имеет высоту **14 м** и диаметр **24 м**;
- температура продукта в резервуаре до и после налива равнялась **$+8^{\circ}\text{C}$** и **$+12^{\circ}\text{C}$** ;
- объем продукта в резервуаре до и после налива составлял **$3955,637 \text{ м}^3$** и **$745,973 \text{ м}^3$** ;
- плотность продукта в резервуаре до и после налива баржи составляла **$823,7 \text{ кг/м}^3$** и **$821,0$**

кг/м³ соответственно. Расчетная плотность при +15°C в резервуаре № 1, найденная исходя из этих величин, составляет **818,9** кг/м³;

– средняя плотность отгрузки составляет

$$\frac{823,7 \text{ кг/м}^3 \times 3955,637 \text{ м}^3 - 821,0 \text{ кг/м}^3 \times 745,973 \text{ м}^3}{3955,637 \text{ м}^3 - 745,973 \text{ м}^3} = 824,3 \text{ кг/м}^3;$$

– паспортная плотность при +15°C (найденная лабораторией) составляет **817,9** кг/м³, то есть примерно на **1,0** кг/м³ ниже, чем полученная расчетным путем, исходя из сделанных операторами замеров.

Обратите внимание: средняя плотность отпуска **824,3** кг/м³ больше как начальной плотности **823,7** кг/м³, так и конечной **821,0** кг/м³. Но ничего удивительного в этом нет. Продукт в резервуаре, как правило, имеет вертикальный градиент по плотности. Он может быть обусловлен или одной причиной: разница температур по высоте резервуара, – или сразу двумя: та же самая разница температур по высоте, плюс наличие в резервуаре двух или более партий продукта с различным фракционным составом и соответственно с разной плотностью. В данном случае в резервуаре был продукт одной партии, поэтому из резервуара при наливке был слит более холодный и тяжелый продукт, находившийся в нижней части резервуара, а сравнительно теплый и легкий продукт постепенно опускался вниз. Если учесть, что перед наливом продукт имел температуру +8°C, то можно оценить, что отпускаемый продукт имел среднюю температуру примерно +7°C.

Между тем гораздо большего внимания требует разница между паспортной плотностью и плотностью при +15°C, найденной расчетным путем на основе сделанных операторами замеров. Эта разница равна **1,0** кг/м³. Она хотя и меньше критерия воспроизводимости по ГОСТ 3900-85, равного **1,2** кг/м³, но, тем не менее, означает три тонны продукта в пересчете на объем, отпущенный из резервуара № 1.

Как уже отмечалось, сниженный пробоотборник находится с западной стороны резервуара, поэтому утренние замеры (до налива баржи) в резервуаре № 1 были произведены, когда пробоотборник находился в тени, а вечерние замеры (после налива), наоборот, в условиях освещения солнцем как раз той стороны резервуара, где располагается пробоотборник. А это означало, что температурный фактор мог внести дополнительный вклад в дифференциацию плотности, помимо уже упоминавшегося вертикального градиента температур и плотности.

Во-первых, прогрев (или охлаждение) воздуха и основания резервуара приводят к равномерному изменению температуры продукта по периферии резервуара, после чего данный температурный перепад постепенно смещается в середину резервуара. Поскольку в апреле-июне, а также в августе-октябре, воздух ночью остывает, то при утреннем замере в резервуаре плотность продукта в районе сниженного пробоотборника будет несколько выше, чем в центральной части резервуара № 1 (рис.1). И наоборот, днем воздух нагревается, поэтому при вечернем замере плотность продукта в районе расположения сниженного пробоотборника будет уже ниже (рис.2), чем в центральной части резервуара.

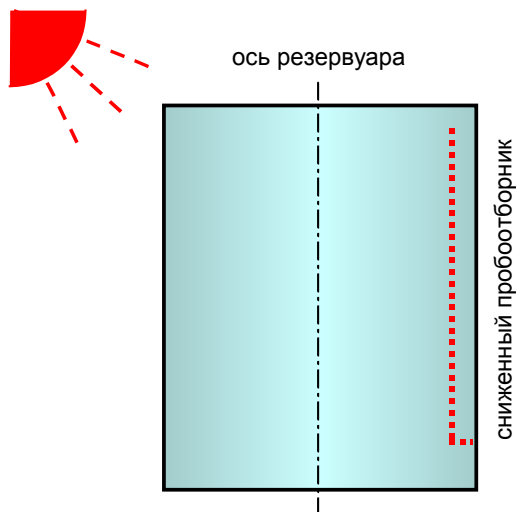


Рис.1. Утренний температурно-плотностной срез резервуара (чем темнее цвет, тем холоднее и тяжелее продукт, и наоборот)

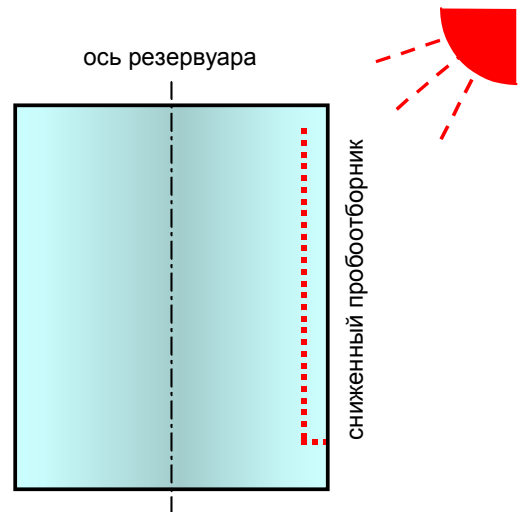


Рис.2. Вечерний температурно-плотностной срез резервуара (чем темнее цвет, тем холоднее и тяжелее продукт, и наоборот)

Таким образом, мы имеем в резервуаре № 1 (впрочем, не только в нем), помимо вертикального градиента температуры и плотности, еще и радиальный градиент, представленный на рис.3-4. В больших резервуарах, имеющих в поперечнике первые десятки метров, данный фактор оказывает особенно значительное влияние. Утренний замер приведет к завышению массы продукта в резервуаре, а вечерний, наоборот, к занижению.

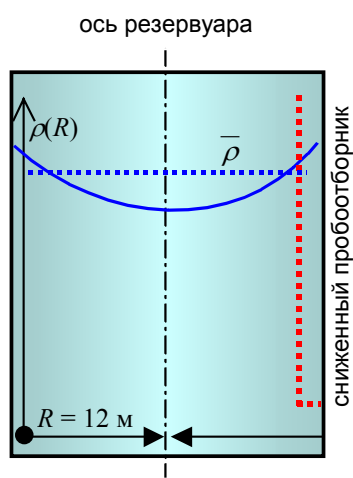


Рис.1. Утренний график плотности (без учета солнечного освещения)

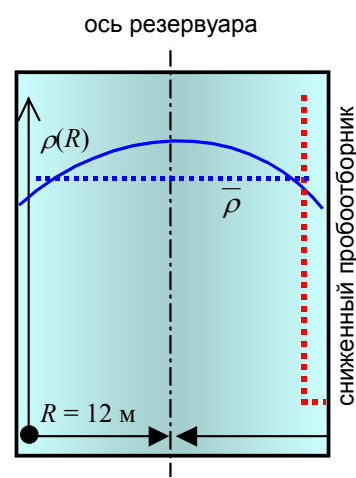


Рис.2. Вечерний график плотности (без учета солнечного освещения)

Учесть влияние радиального градиента, в отличие от вертикального, сложнее. Его можно «поймать» разве что сниженным пробоотборником, проходящим через резервуар наклонно. Но такие «продвинутые» пробоотборники имеются, как правило, лишь у вновь вводимых резервуаров. А если резервуар не нов, то хорошо, если он хотя бы наспех оборудован вертикальным пробоотборником – ведь в противном случае пробы нужно отбирать через замерной люк с помощью ручного пробоотборника.

Как бы там ни было, вертикальный пробоотборник, равно как и замеры плотности посредством проб, отбираемых через замерной люк, не в состоянии дать достоверную оценку истинной средней температуры и плотности по резервуару.

Как соотносятся между собой радиальный график плотности резервуара $\rho(R)$ и

истинная средняя плотность в резервуаре $\bar{\rho}$, схематично показывают на рис.3-6 соответственно сплошная и пунктирная линия.

Во-вторых, в весенне-летний период будет значительно сказываться и прогрев прямыми солнечными лучами. Это приведет к зональной дифференциации температуры и плотности продукта в резервуаре: на освещенной стороне продукт окажется более прогрет, и его плотность упадет (как в том примере, которым была начата статья). В частности, для резервуара № 1 при замерах в утренние часы этот фактор будет способствовать завышению плотности в районе сниженного пробоотборника по сравнению со средней по резервуару и соответственно завышению массы продукта в резервуаре (рис.5). И наоборот, при замерах в вечернее время этот фактор будет способствовать значительному снижению плотности в районе сниженного пробоотборника и соответственно занижению массы продукта в резервуаре (рис.6).

При наливе продукта из резервуара № 1 сработали оба фактора – и радиальный, и зональный градиент. Перед наливом (напомню, это было весьма прохладным утром, при этом сниженный пробоотборник находился на теневой стороне) плотность оказалась завышенной (рис.1, 3, 5). Вечером же, наоборот, нагретый в течение дня продукт был еще более прогрет солнечными лучами, падавшими со стороны сниженного пробоотборника, и плотность оказалась аномально заниженной (рис.2, 4, 6). В итоге по резервуару № 1 масса продукта до слива была завышена, а вечером, после слива, занижена. Соответственно разница масс, определяющая количество отпущенного из резервуара № 1 продукта, так же оказалось искусственно завышенной. Окончательным же итогом стала закономерная недостача, выявленная при приемке продукта.

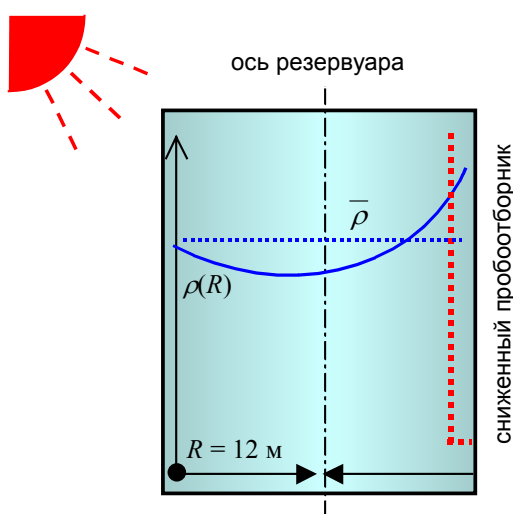


Рис.5. Утренний график плотности (с учетом солнечного освещения)

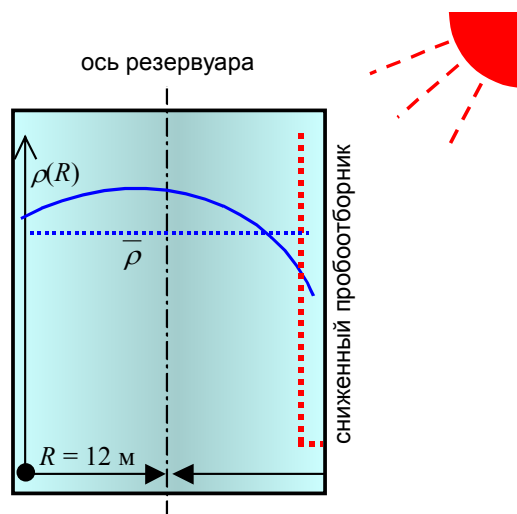


Рис.6. Вечерний график плотности (с учетом солнечного освещения)

Каким образом можно было бы решить ситуацию?

Вариантов несколько, но ни один из них не идеален. Поэтому, учитывая, что паспортная (лабораторная) плотность продукта при +15°C безусловно точнее, чем плотность, найденная операторами до и после налива, есть резон опереться в расчете массы именно на паспортную (лабораторную) плотность. Во как это могло бы выглядеть в рассмотренном случае:

- разница между расчетной плотностью **818,9** кг/м³ и лабораторной **817,9** кг/м³, как было сказано, составляет **1,0** кг/м³;
- в накладной для расчета массы должна быть указана скорректированная плотность:

$$\mathbf{824,3 \text{ кг/м}^3 - 1,0 \text{ кг/м}^3 = 823,3 \text{ кг/м}^3}$$
- эта величина умножается на объем продукта, и в итоге масса будет определена точнее.

P.S. Правда, расчет был бы еще точнее, если бы объем продукта до и после слива (соответственно грузоотправителем и грузополучателем) корректировался с учетом температурного фактора согласно ГОСТ Р 8.595-2004 по следующей формуле, адаптированной применительно к стальным резервуарам и стальным измерительным инструментам:

$$V_t = V_{20^\circ} \times (1 + 3 \times 12,5 \times 10^{-6} \times [t - 20^\circ \text{C}]),$$

где:

t – фактическая температура продукта;

V_t – фактический объем продукта;

V_{20° – объем продукта по градуировочной таблице, чьи значения соответствуют температуре $+20^\circ\text{C}$.

Но поскольку в рассмотренной ситуации ни грузоотправитель, ни грузополучатель не делали корректировки объема по температуре, то первый благополучно отгрузил примерно $1,8 \text{ м}^3$ продукта только на бумаге, а второй столь же благополучно принял эти же мифические $1,8 \text{ м}^3$ продукта на свой счет тоже на бумагу. Иначе говоря, в результате взаимно погашающихся методических ошибок при наливе и при приеме этот объем не вылез в виде явной недостачи, поэтому он не фигурировал в статье.