

«МЕТРОЛОГИЯ» В АВТОЦИСТЕРНАХ

Наступает лето, становится жарко. Ну, а в тепле, как известно, все расширяется. Не исключение и нефтепродукты, львиная доля которых доставляется на АЗС с нефтебаз и наливных пунктов в автомобильных цистернах.

Но если АЗС работают в круглосуточном режиме, то нефтебазы и перевозчики обычно придерживаются другого распорядка: в восемь-девять утра начало рабочего дня, в пять-шесть вечера – окончание. В силу этого наплыв автоцистерн на нефтебазах и наливных пунктах наблюдается преимущественно в утренние часы и в первой половине дня, тогда как прием и выгрузка автоцистерн на АЗС происходит преимущественно во второй половине дня или даже ближе к ночи; в первую очередь это характерно для больших расстояний перевозки.

В летние утренние часы и первой половине дня продукт, наливаемый в автоцистерны на нефтебазах, имеет умеренную температуру: ночью в резервуарах продукт все же остывает. Однако, пока его везут на АЗС, особенно если дорога требует несколько часов, в ясный летний день под лучами жаркого солнца продукт в автоцистерне изрядно нагревается: мало того что большинство отечественных автоцистерн обычно оранжевого цвета, жадно впитывающего солнечные лучи, да вдобавок бока автоцистерн традиционно пыльные или вовсе чумазые. В результате, понятное дело, при приеме на АЗС продукт имеет совсем не ту температуру, при которой его наливали на нефтебазе: в мае – первой половине сентября эта температура, как правило, выше, и временами весьма существенно выше.

И тут начинается самое интересное.

Согласно пункту 3.4 ГОСТ 8.595-2002, автоцистерна является мерой полной вместимости. Это значит, что на нефтебазе или наливном пункте продукт наливается в нее по ограничительную метку – так называемую планку.

Однако ясно, что если продукт в цистерне нагреется, то продукт, само собой, расширится в объеме, и его уровень в горловине цистерны поднимется выше планки – в полном согласии с изменением температуры продукта. И теперь вопрос на засыпку: операторы АЗС, принимая в летние месяцы автоцистерны с нефтепродуктом, наблюдают ли когда-либо, что уровень продукта в автоцистерне оказался выше планки?

Вопрос, разумеется, был риторический.

Конечно же, не наблюдают, ибо чудес не бывает. По планку или даже ниже ее – да, это они видят. А вот чтобы выше – увы. Особенности национального "менталитета" наших водителей не позволяет им привезти на АЗС продукта выше планки, если даже температура в цистерне запредельная и продукт чуть ли не кипит: раз в накладной указано "по планку" – значит, будет привезено по планку, и баста.

Однако ясно и то, что собственник продукта внакладе от такого "менталитета". Продукт в цистерне принадлежит ему, пусть даже он увеличился в объеме и поднялся выше планки: нефтебазы пока еще продают нефтепродукты по массе, да и закон сохранения массы никто еще не отменял. Поэтому, если в цистерне и происходит увеличение объема продукта при росте температуры, то это увеличение компенсируется снижением плотности.

С целью оценить масштаб возможных потерь, которые может понести собственник продукта от особенностей его поведения в автоцистернах, нами были сделаны расчеты. В качестве методической основы послужил документ МИ 2632-2001 – как наиболее передовой из существующих на сегодняшний день нормативных документов аналогичного назначения.

МИ 2632-2001 содержит формулу, позволяющую решать прямую и обратную задачи:

расчетным путем найти плотность продукта при данной температуре, если известна его плотность при температуре +15°C, и наоборот – вычислить эту реперную плотность при +15°C, если известна плотность продукта при данной температуре.

Сначала с помощью формулы из МИ 2632-2001 была решена обратная задача: на основе фактических данных за достаточно большой период времени для каждого из шести основных видов нефтепродуктов были найдены их средние плотности при +15°C. В качестве справочной информации (на тот случай, если у кого появится мысль сравнить со своими показателями) полученные результаты представлены в виде небольшой таблицы:

Показатель	Нефтепродукты					
	Бензины				Дизельное топливо	
	А-76 З (зимний)	А-76 Л (летний)	А-92	А-95	ДТ З (зимнее)	ДТ Л (летнее)
1. Средняя плотность при +15°C, г/см ³	0,72227	0,73833	0,76618	0,76415	0,82010	0,82999
2. Среднеквадратическое отклонение, г/см ³	0,00376	0,00569	0,00469	0,00783	0,00605	0,00351
3. Коэффициент вариации, % [п.2 : п.1 × 100%]	0,52	0,77	0,61	1,02	0,74	0,42

Затем, отталкиваясь от найденных значений плотности при +15°C, с помощью той же формулы из МИ 2632-2001 была решена прямая задача: на реалистичном интервале температур от –40°C до +35°C (для бензинов) и до +50°C (для дизельного топлива) были найдены расчетные плотности, соответствующие той или иной температуре.

Обнаружилось, что, несмотря на внешне пугающую сложность формулы МИ 2632-2001 (именно по этой причине я даже не привожу ее), вычисленные таким образом плотности нефтепродуктов при различных температурах укладываются практически вдоль прямых линий. Для наглядности они изображены на рис.1: сверху вниз идут дизельное топливо летнее (ДТ Л), дизельное топливо зимнее (ДТ З), бензин А-92, бензин А-95 (графики этих двух бензинов практически совпадают), бензин А-76 летний (А-76 Л) и бензин А-76 зимний (А-76 З).

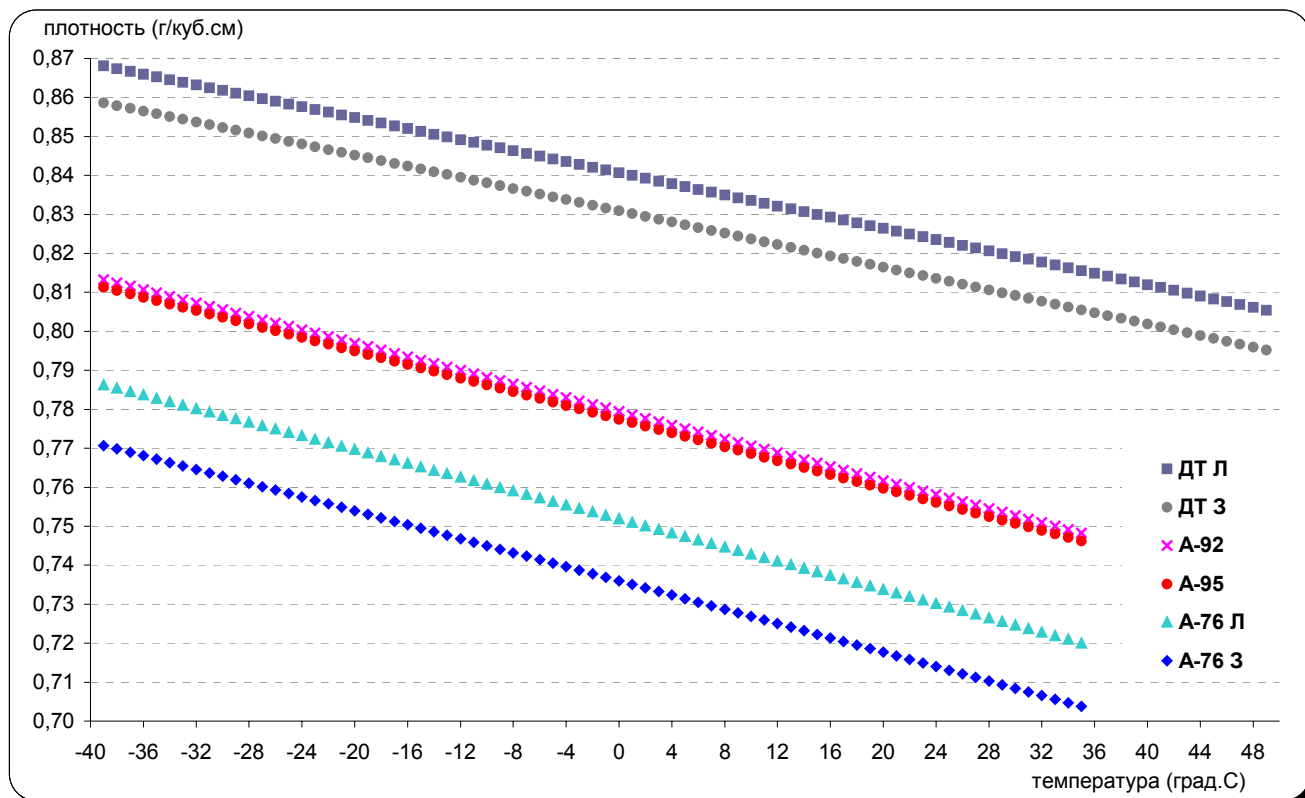


Рис.1. Плотности нефтепродуктов при различных температурах (расчеты выполнены на основе МИ 2632-2001)

То, что графики являются практически линейными (по крайней мере, визуально нелинейность не обнаруживается) – весьма удачное для анализа обстоятельство. В частности, для графиков плотностей при различных температурах легко найти линейные уравнения трендов, пользуясь стандартным пакетом анализа MS Excel (точность аппроксимации R^2 оказалась почти стопроцентной):

– дизельное топливо летнее (ДТ Л)	$\rho(t) = -0,00071t + 0,84065$	$R^2 = 99,996\%$
– дизельное топливо зимнее (ДТ З)	$\rho(t) = -0,00072t + 0,83082$	$R^2 = 99,996\%$
– бензин А-92 (А-92)	$\rho(t) = -0,00088t + 0,77926$	$R^2 = 99,994\%$
– бензин А-95 (А-95)	$\rho(t) = -0,00088t + 0,77729$	$R^2 = 99,994\%$
– бензин А-76 летний (А-76 Л)	$\rho(t) = -0,00089t + 0,75189$	$R^2 = 99,993\%$
– бензин А-76 зимний (А-76 З)	$\rho(t) = -0,00090t + 0,73596$	$R^2 = 99,992\%$

Постоянные коэффициенты перед аргументом t в функциях $\rho(t)$ имеют прозрачный метрологический смысл: их абсолютное значение показывает, на сколько литров изменится объем 1 литра нефтепродукта при изменении его температуры на 1°C .

Но поскольку эти величины слишком малы, то нам проще умножить эти коэффициенты на 1000, после чего мы получим значения, на сколько литров меняется объем 1000 литров нефтепродукта при изменении на 1°C его температуры. Полученные значения показаны в приведенной ниже таблице; в ней же справочно приведены аналогичные показатели, найденные на основе других источников:

Показатель	Нефтепродукты					
	Бензины				Дизельное топливо	
	А-76 З (зимний)	А-76 Л (летний)	А-92	А-95	ДТ З (зимнее)	ДТ Л (летнее)
Изменение объема нефтепродукта при изменении температуры на 1°C , в расчете на 1000 литров						
– согласно МИ 2632-2001 (литр)	0,90	0,89	0,88	0,88	0,72	0,71
справочно:						
– согласно ГОСТ 3900-85 (литр)	0,82	0,80	0,76	0,76	0,69	0,67
– согласно справочнику для АЗС* (литр)	0,89	0,86	0,83	0,83	0,76	0,74

* **Примечание:** Справочное пособие для работников АЗС и АГНС. Под ред. И.Б.Плитмана. "Недра", 1982.

Как видим, результаты по всем трем источниками достаточно близки, но можно отметить, что ГОСТ 3900-85 и справочник для АЗС выдают не совсем стабильные результаты. А потому в практической работе следует отдавать предпочтение все же МИ 2632-2001.

Как пользоваться полученными сведениями?

Пусть, к примеру, с наливного пункта на АЗС отгружен бензин А-92 при температуре $+17^\circ\text{C}$, при этом объем 16720 литров, указанный в товарно-транспортной накладной, равен объему автоцистерны согласно свидетельству о поверке. При приеме на АЗС оператор обнаруживает, что температура продукта в цистерне составляет $+23^\circ\text{C}$, но уровень продукта в горловине, диаметр которой составляет 900 мм, не только не поднялся выше планки, как можно было бы ожидать по изменению температуры, но даже ниже планки на 15 мм.

Грамотная последовательность действий оператора в данной ситуации:

1. Пользуясь формулой объема цилиндра из курса школьной геометрии, оператор находит уменьшение номинального объема продукта в горловине (с переводом в литры):

$$\frac{\pi d^2 h}{4} \times 10^{-6} = \frac{3,14 \times (900 \text{ мм})^2 \times 15 \text{ мм}}{4} \times 10^{-6} = 9,5 \text{ литров}$$

2. Пользуясь коэффициентом температурной сжимаемости бензина А-92 из таблицы, оператор находит изменение объема вследствие роста температуры продукта в цистерне:

$$16720 \text{ литров} \times 0,88 \frac{\text{литр}}{1^\circ \times 1000 \text{ литров}} \times (23^\circ - 17^\circ) = \frac{16720}{1000} \times 0,88 \times 6 = 88,3 \text{ литра}$$

3. Поскольку изменения носят противоположно направленный характер (уровень продукта в горловине должен был подняться, тогда как на деле он, напротив, даже снизился), то оператор соответственно суммирует полученные значения:

$$9,5 \text{ литров} + 88,3 \text{ литра} \approx 98 \text{ литров, или почти пять 20-литровых канистр.}$$

4. После чего оператор интересуется у водителя, куда делись пять канистр бензина?

Мы рассматривали возможный сценарий применительно к летним месяцам.

Но ничто не мешает применять этот же алгоритм и в остальные сезоны. Думается, что только такой порядок и должен быть нормой в отношениях между розничными продавцами нефтепродуктов и автоперевозчиками. А для этого нужно лишь, чтобы в договоре перевозок содержался пункт примерно следующего содержания:

Объем утраченного (недостающего) нефтепродукта в автоцистерне определяется при каждой приемке нефтепродукта на АЗС на основе замеров в цистерне, производимых оператором в присутствии водителя, с учетом изменения уровня продукта в горловине цистерны относительно ограничительной планки и внесением поправки на температурную сжимаемость продукта согласно МИ 2632-2001.