

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПОСТАВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ: "ТАЙНЫ МАДРИДСКОГО ДВОРА"

Ложка дёгтя... в цистерне нефтепродукта

Очевидно, что от точности калибровки железнодорожных цистерн зависит многое. Но, оказывается, порой даже точная работа учреждений Госстандарта по калибровке цистерн не гарантирует поставщиков и покупателей нефтепродуктов от досадных недоразумений, возникающих при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

В издаваемых Департаментом вагонного хозяйства МПС России калибровочных таблицах цистерн¹ приводится объем, соответствующий той или иной высоте залива в цистерне. Но есть одна тонкость: высоты заливов даны с шагом ... 1 см.

С одной стороны, это понятно: при существующем количестве типов цистерн калибровочные таблицы с шагом 1 мм составили бы целые тома справочников, что не прибавило бы удобства при работе с ними. С другой – высоты заливов в реальных условиях могут быть все же самыми разными, в том числе и равными нецелому числу сантиметру (допустим, 284,6 см). В итоге в организациях нефтепереработки и нефтесбыта в какой-то момент неизбежно возникает необходимость самостоятельно рассчитать, какой же объем нефтепродукта приходится на 1 мм на различных высотах залива в цистерне. Самое простое решение – линейная интерполяция на основе значений калибровочных таблиц. К примеру, для цистерны типа **71** в калибровочной таблице по двум соседним высотам заливов (допустим, 286 см и 287 см) находятся соответствующие объемы (151411 и 151814 литров), после чего вычисляется объем, приходящийся на 1 мм в данном интервале:

$$\frac{151814 \text{ л} - 151411 \text{ л}}{287 \text{ см} - 286 \text{ см}} = \frac{403 \text{ л}}{10 \text{ мм}} = 40,3 \text{ л}$$

Этим способом для всех высот заливов и объемов, представленных в калибровочной таблице цистерны типа **71**, можно получить числовой ряд объемов, приходящихся на 1 мм. Для удобства и наглядности этот ряд лучше показать графически (рис.1). Первое и главное, что бросается в глаза, это гладкость кривой, и она лучше длинных математических доказательств убеждает, что цистерна откалибрована практически идеально.

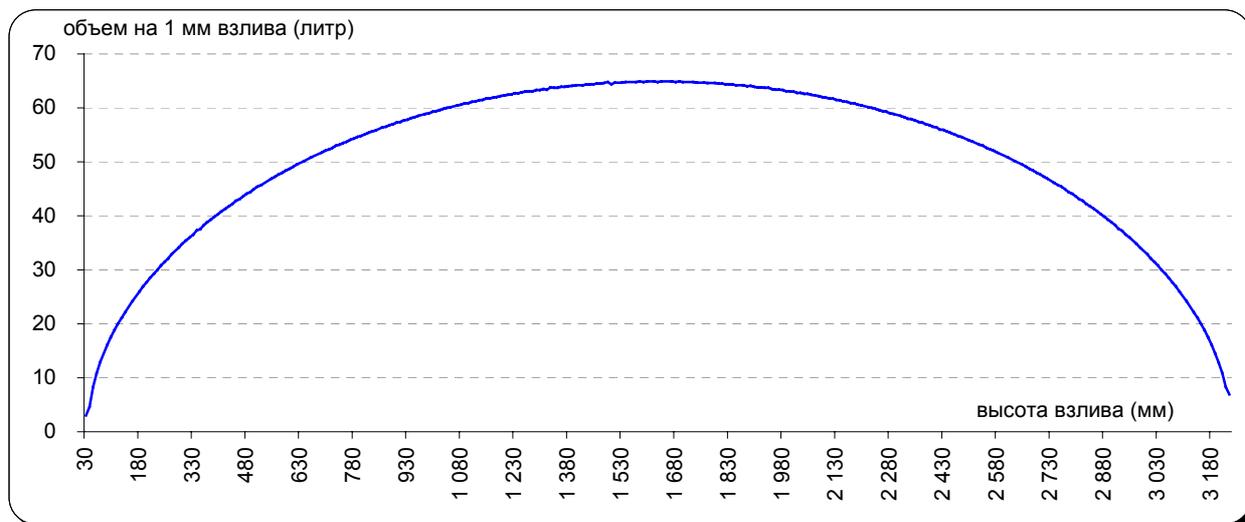


Рис.1. Объем, приходящийся на 1 мм на различных высотах залива в цистерне типа 71.

¹ Таблицы калибровки железнодорожных цистерн. – М.: Транспорт, 1997. – 109 с. Утверждены департаментом вагонного хозяйства МПС России.

В качестве примера приводится график, аналогичный предыдущему, но уже для цистерны типа 56 (рис.2). В первую очередь после предыдущего примера в глаза бросается то, что график напоминает чем-то дисковую пилу, и это уже само по себе слегка настораживает. Кроме того, явно лишним выглядит резкий всплеск во второй части графика. Причина всплеска в том, что на высотах взлива 213, 214, 215, 216 и 217 см, согласно калибровочной таблице цистерны², объем составляет 76835, 77225, 77570, 78000 и 78385 литров соответственно. Если по этим значениям вычислить объем, приходящийся на 1 мм в четырех соседних интервалах 213...214 см, 214...215 см, 215...216 см и 216...217 см, то получим значения 39; 34,5; 43 и 38,5 литров соответственно. Но поскольку такие скачки объемов (± 5 л), приходящихся на 1 мм взлива, на соседних сантиметровых интервалах физически невозможны (цистерны сделаны из стали толщиной 10 мм), то, следовательно, они являются следствием случайных счетных ошибок, допущенных в калибровочной таблице, и никакого отношения к цистерне не имеют. Очевидно, что "возмутителем спокойствия" является объем 77570 литров, соответствующей высоте взлива 215 см. И действительно: если для этой высоты взлива взять объем равным 77615 литрам, то получится стройная последовательность значений, приходящихся на 1 мм в рассмотренных четырех интервалах: 39; 39; 38,5 и 38,5 литров. Всплеск исчезнет, а график тотчас же приобретет приемлемую гладкость – как и положено, если исходить из того, что цистерна – это все же не огурец и пупырышек по бокам не имеет.

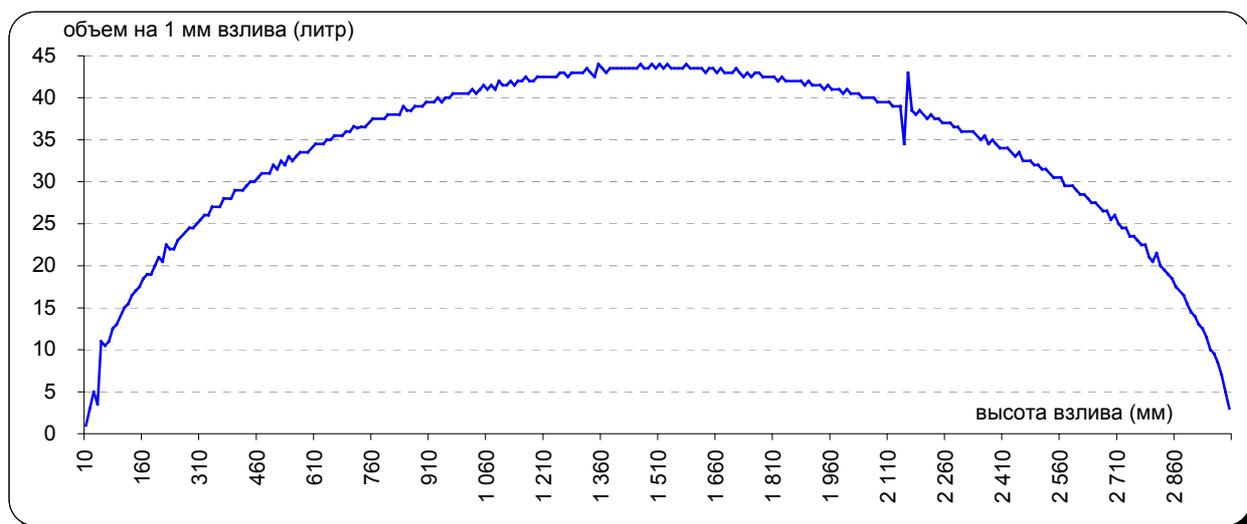


Рис.2. Объем, приходящийся на 1 мм на различных высотах взлива в цистерне типа 56.

Для большинства цистерн, у которых обнаруживались подобные всплески (у некоторых до пяти-шести) нами были составлены свои "уточненные" таблицы (что поделать – приходится бежать впереди паровоза, причем почти что в буквальном смысле!), предназначенные для разного рода аналитических расчетов при контроле данных, содержащихся в сопроводительных документах поставщиков. Но есть три случая, изумившие настолько, что мы сочли оставить калибровочные таблицы этих типов цистерн в первозданном виде. Речь идет о цистернах типа 35, 35а и 67. Для последней³ из перечисленных соответствующий график представлен на рис.3; как говорится, комментарии излишни.

Небольшое резюме-рекомендация. Учитывая наличие счетного брака в таблицах калибровки железнодорожных цистерн, Госстандарту России и Департаменту вагонного хозяйства МПС России необходимо проверить эти таблицы, а предприятиям нефтепереработки и нефтесбыта чрезвычайно внимательно подходить к составлению различного рода баз данных и программного обеспечения, в которых планируется использовать эти таблицы.

² Там же. С.61.

³ Там же. С.84-85.

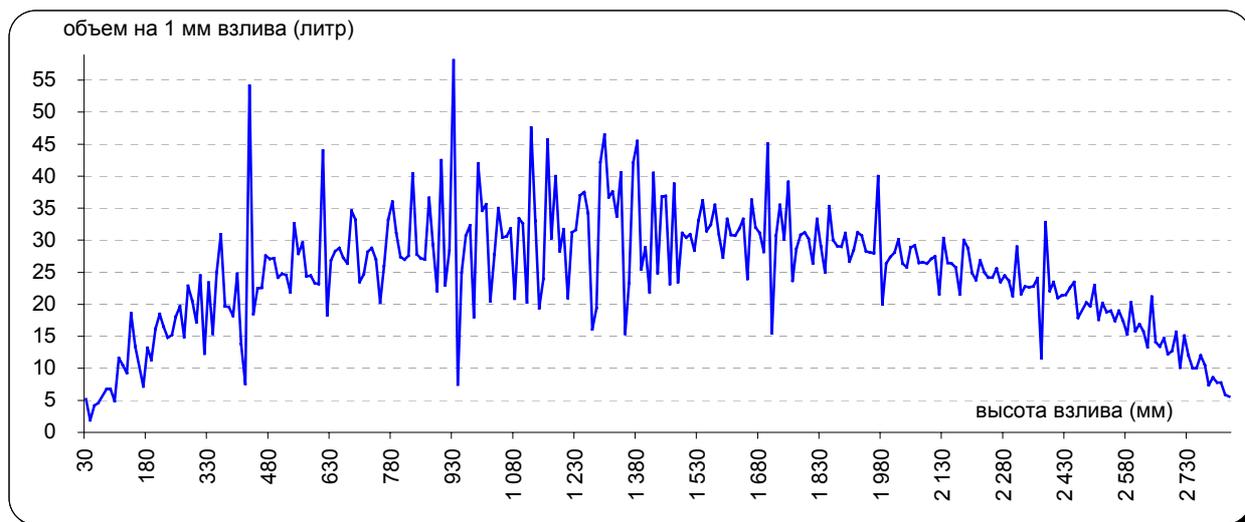


Рис.3. Объем, приходящийся на 1 мм на различных высотах взлива в цистерне типа 67.

В тени математических округлений

Высота взлива нефтепродукта в железнодорожной цистерне – как при отгрузке, так и при приеме – в сопроводительных документах поставщика и в журнале учета поступивших нефтепродуктов покупателя (так называемая ф.13-НП) показываются ... в целых сантиметрах. Это совершенно уникальный в нефтепродуктообеспечении случай, поскольку во всех остальных случаях высота взлива в резервуарах, причем по объему в десятки и даже сотни раз превышающих объем железнодорожной цистерны, измеряется с точностью до миллиметра.

Как выяснилось, эта странная практика ведет свое начало от правил использования калибровочных таблиц железнодорожных цистерн, утвержденных Департаментом вагонного хозяйства МПС России. Данный документ предполагает, что полученный при измерении высоты взлива в цистерне результат округляется до целого сантиметра, то есть величина менее 0,5 см отбрасывается, а 0,5 см и более считается за целый сантиметр⁴.

На первый взгляд, ничего сверхъестественного в этом округлении нет. Это математическое правило, применяемое в идеальных условиях для больших совокупностей приведет к тому, что округления в большую и меньшую сторону будут взаимно компенсировать (погашать) друг друга, и в конечном счете не приведут к искажению суммарного результата. Но вот имеет ли место эта гармония в действительности?

Даже сугубо теоретически это округление вовсе не так безобидно, как казалось бы на первый взгляд. Обратим внимание на границу, с которой начинается процесс округления неполного сантиметра: 0,5 см, или 5 мм, – и запомним эту цифру. Далее обратим внимание на тот цифровой ряд, при которых возникает необходимость округления: это первые девять значений натуральных чисел, то есть 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9 (нуля в этом списке нет, потому что он и так уже круглый). Теперь приглядимся к этому ряду: он симметричен относительно реперной отметки 5 мм. Это значит, что при прочих равных условиях в достаточно больших совокупностях:

- округления вверх от отметки 9 мм компенсируются округлениями вниз от отметки 1 мм;
- округления вверх от отметки 8 мм компенсируются округлениями вниз от отметки 2 мм;
- округления вверх от отметки 7 мм компенсируются округлениями вниз от отметки 3 мм;
- округления вверх от отметки 6 мм компенсируются округлениями вниз от отметки 4 мм;
- округления вверх от отметки 5 мм компенсируются ... чем?

⁴ Там же. С.7.

Ничем, равным счетом ничем.

А следовательно, при тех самых прочих равных условиях, в тех же самых в больших совокупностях, никакой математической гармонии не может возникнуть даже теоретически. Процесс округлений будет систематически завышать объем нефтепродукта в цистерне в сравнении с фактическим объемом в среднем на величину, равную

$$\frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times 5 \times X = \frac{5}{100} X,$$

где $\frac{1}{10}$ – объем, приходящийся в среднем на 1 мм высоты при данном уровне взлива;

$\frac{1}{10}$ – вероятность появления взлива, оканчивающегося одной из цифр от 0 до 9;

5 – округляемое вверх количество миллиметров при высоте взливе с последним неполным сантиметром, оканчивающимся в дробной части цифрой 5;

X – объем одного полного сантиметра на высоте взлива, до которой наполнена цистерна. При характерном для перевозок нефтепродуктов уровне взлива данная величина у различных типов цистерн составляет от 100 до 400 литров. В частности, для наиболее распространенных типов цистерн: **20** – 80-90 литров; **25, 25a** – 130-140 литров; **53, 73** – 140-150 литров; **62, 69, 72** – 160-170 литров; **56, 66, 79, 80** – 180-190 литров; **63** – 250 литров; **31, 61** – 300-330 литров; **71** – 380-400 литров.

Согласно этой формуле, даже в идеальных условиях, при идеально производимых замерах высоты взлива, в случае больших совокупностей покупателю будет фатально неизбежно доставлено известное количество нефтепродукта, которое фигурирует только в накладных поставщика, но которого в действительности нет. В среднем это 8-10 литров на каждую цистерну вместимостью 60-70 тонн и 18-20 литров на каждую цистерну вместимостью более 100 тонн. Цифры хотя и небольшие, но обидные для покупателя уже тем, что они возникают в результате тривиальной математической операции округления, причем выполненной абсолютно добросовестно, без какого бы то ни было злого умысла.

Но это мы рассматривали идеальный случай. И если даже при этом покупатель обречен на получение от поставщика недочет, то что же следует ожидать в реальности?

Для этого достаточно вспомнить, что продавец, как известно, **продает**, а покупатель **покупает**. Следовательно, при прочих равных условиях обеим сторонам – как отгружающей, так и принимающей – свойственна известная степень лукавства, тем более его легко скрыть, поскольку факт ее наличия или отсутствия, кроме как статистически, выявить проблематично. Это лукавство находит свое проявление в том, что граница округления может начинаться не с 0,5 см, а ...немного выше или немного ниже.

Поставщик безусловно выигрывает от округления вверх (поскольку это слегка завышает объем нефтепродукта в цистерне, и соответственно массу, за которую производится денежный расчет), поэтому ему есть резон искусственно опустить границу округления. Но опустить немного, чуть-чуть, поскольку понятно, что выигрыш покупателя есть не что иное, как обворовывание покупателя, а это не очень красиво, да вдобавок еще и грешно. Словом, вполне возможно, что операторы поставщика, делающие замер взлива в цистерне после ее наполнения, в качестве границы округления вниз или вверх обычно принимает уровень 0,4 см.

Помимо этой причины, есть, еще одна, вследствие которой также может произойти завышение высоты взлива при отгрузке нефтепродукта.

Погруженный в цистерну метршток может располагаться не строго вертикально, как того требуют Инструктивные указания⁵, а чуть с наклоном. При обычных для цистерн высотах взлива (250-300 см) отклонение всего лишь на 1,5-2° от вертикали приведет к завышению

⁵ Там же. С.6.

высоты разлива на 1-1,5 мм. А это значит, что если бы при строго вертикальной установке метрштока последний неполный сантиметр высоты разлива заканчивался цифрой 3 мм или 4 мм, то при наклоне метрштока на 1,5-2° от вертикали этот неполный сантиметр будет заканчиваться уже цифрами 5 и 6 мм соответственно. В итоге дело будет выглядеть так, словно требуется сделать округление высоты разлива вверх.

Если округление вверх производится от цифры 4, то выигрыш продавца составит уже

$$\frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times (5 + 4 + 6) \times X = \frac{15}{100} X,$$

где 4, 5 и 6 – округляемое вверх количество миллиметров вверх (например, если округление делается от цифры 4, то округляемое количество миллиметров составит 6).

Если же округление вверх производится уже от цифры 3, то выигрыш окажется равным

$$\frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times (5 + 4 + 6 + 3 + 7) \times X = \frac{25}{100} X,$$

где 3, 4, 5, 6 и 7 – округляемое вверх количество миллиметров вверх (например, если округление делается от цифры 3, то округляемое количество миллиметров составит 7).

Истина обычно находится посередине, поэтому, взяв среднее между двумя результатами двух последних вычислений, мы получим, что недостача, заложенная поставщиком в процессе округления высоты разлива, в среднем на одну цистерну вместимостью 60-70 тонн может достичь 30-40 литров, а на цистерну более 100 тонн – 70-90 литров. А это уже "информация к размышлению" для покупателя.

Что же касается покупателя, в данном случае в лице операторов его нефтебазы, то им уже невыгодно округлять вверх. Обычная человеческая психология не позволит оператору принять 0,5 см в качестве целого сантиметра, и тем самым признать приемку не существующего в цистерне продукта. Но та же самая человеческая психология легко простит оператору округление вниз с высоты больше 0,5 см, то есть с высоты, большей предусматриваемой правилами замеров в цистерне. Последнее тем более вероятно, так как количество нефтепродукта, которое найдет отражение в учете нефтебазы, при прочих равных условиях соответствует количеству в накладной поставщика, и именно за это учетное количество будет в ответе оператор (в качестве материально-ответственного лица). А потому операторы нефтебазы стараются поднять планку округления, скорее всего, максимально возможно, то есть до 0,9 см – иначе говоря, любой неполный сантиметр операторы покупателя округляют вниз.

Хотя, на первый взгляд, это мнимое занижение не берется во внимание в бухгалтерском учете, и соответственно не влияет на финансовые результаты покупателя, но ставить точку преждевременно. Дело в том, что редко, но все же случается, что при инвентаризациях на нефтебазах выявляются сверхнормативные недостачи (вовсе необязательно возникшие по вине поставщиков, хотя это тоже не исключается). А за недостачи, как известно, операторы нефтебазы обязаны платить из своего кармана в соответствии с договором о полной коллективной материальной ответственности. В результате при больших суммах недостач может возникнуть спор между работодателем и операторами, причем при нынешней строгости Трудового Кодекса велика вероятность того, что вопрос будет решаться в суде. И тогда журнал учета поступивших нефтепродуктов (ф.13-НП), в котором высоты разливов были округлены операторами до целого сантиметра по правилам, только им одним известным, может сыграть свою роль – спасительную для операторов и роковую для собственника нефтебазы. Суд не будет принимать во внимание, что округление высоты разливов могло производиться операторами произвольно. Соответственно мнимые недостачи, которые были зафиксированы при приемке в журнале учета поступивших нефтепродуктов (ф.13-НП), превратятся во вполне весомый аргумент для оправдания операторов, после чего недостачи лягут на собственника

нефтебазы. В результате он может пострадать не только от округлений, производимых поставщиком, но еще и от округлений, выполненных его же собственными работниками.

Опять же, как и в предыдущем разделе, подведем итоги.

Чтобы избежать появления в журнале учета поступивших нефтепродуктов (ф.13-НП) недочет в железнодорожных цистернах – реальных при наполнении цистерны поставщиком и несуществующим при приемке покупателем, необходимо фиксировать высоту разлива с точностью до 1 мм. Ничего нового, кстати, в этом нет. Произойдет всего лишь восстановление в правах незаслуженно забытых пунктов 2.9 и 2.19 Инструкции о порядке поступления, хранения, отпуска и учета нефти и нефтепродуктов на нефтебазах, наливных пунктах и автозаправочных станциях системы Госкомнефтепродукта СССР, утвержденной постановлением Госкомитета СССР по обеспечению нефтепродуктами от 15 августа 1985г. № 06/21-8-446:

- 2.9. В железнодорожных цистернах объем нефтепродуктов определяется по градуировочным таблицам, составленным на каждый сантиметр высоты. Среднее значение вместимости дробных частей сантиметра вычисляется расчетным путем.
- 2.19. Уровень нефтепродукта и подтоварной воды в железнодорожных цистернах измеряется метрштоком через горловину котла цистерны в двух противоположных точках горловины по оси цистерны. При этом необходимо следить за тем, чтобы метршток опускался на нижнюю образующую котла и не попадал в углубления для нижних сливных приборов. Уровень следует отсчитывать с точностью до 1 мм.

Этот же порядок (правда, косвенно) предполагается и нормативными документами⁶, которыми планируется заменить Инструкцию от 15 августа 1985г. – Инструкцией по учету нефтепродуктов автоматизированной системой коммерческого учета и управления технологическими процессами на нефтебазе (АСКУ НБ) (прием, хранение, отпуск, внутренний аудит) и Инструкцией по учету нефтепродуктов автоматизированной системой коммерческого учета и управления технологическими процессами на АЗС (АСКУ АЗС) (прием, хранение, отпуск, внутренний аудит). В частности, пунктами 4.3 обоих документов установлено, что единицей измерения уровня нефтепродуктов и пределом округления уровня является 1 мм.

С порочной практикой округления высоты разливов в цистернах уже давно пора распрощаться. Калибровочные таблицы цистерн, имеющие шкалу в целых сантиметрах, для вычисления объема неполного сантиметра нужно использовать следующим образом:

- разлив нефтепродукта в цистерне типа 61 составил 284,6 см;
- между тем на высоте разлива 284 см объем цистерны составляет 136360 литров, а на высоте 285 см – 136640 литров. Это значит, что объем полного сантиметра от высоты 284 см до высоты 285 см составляет 280 литров, то есть на 1 мм приходится в среднем 28 литров;
- объем нефтепродукта в цистерне составляет $136360 + (28 \times 6) = 136528$ литров (кстати сказать, применяемый сегодня алгоритм округления высоты разлива привел бы к завышению объема нефтепродукта в цистерне по сравнению с фактическим объемом на 112 литров). Именно этот объем – 136528 литров – должен быть использован поставщиком для расчета массы нефтепродукта, за которую будет произведен расчет с покупателем.

Двойные стандарты

Как это ни странно, но двойные не только в переносном, но и буквальном смысле, когда речь заходит об измерении плотности нефтепродуктов при железнодорожных перевозках.

На сегодняшний день в мире ареометров и паспортов качества нефтепродуктов сложилось зыбкое "двоевластие". С одной стороны, в части экспортных операций уже вступил в права ГОСТ Р 51069-97 "Нефть и нефтепродукты. Метод определения плотности,

⁶ Проект ООО НТФ "Измеритель". 2003г.

относительной плотности и плотности в градусах API ареометром", разработанный на базе американского стандарта ASTM D 1298. С другой – остается в силе ГОСТ 3900-85 "Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности", причем понятно, что на его долю остается внутренний рынок.

Вместе с тем в последние годы проведена большая работа по внедрению новых нормативных документов на базе американского стандарта ASTM D 1298. Их результатом стало появление чрезвычайно важного нормативного документа МИ 2632-2001 "ГСИ. Плотность нефти и нефтепродуктов и коэффициенты объемного расширения и сжимаемости. Методы и программа расчета". Уже первые опыты алгоритмов этой методики показали: применение ГОСТ 3900-85 сопровождается значительными ошибками в учетных операциях⁷.

Опираясь на алгоритмом расчета МИ 2632-2001, оценим количественный масштаб искажений, вносимых при измерениях плотности нефтепродуктов таблицами, содержащимися в ГОСТ 3900-85.

При поставках нефтепродуктов железнодорожным транспортом на внутренний рынок в сопроводительных документах поставщика указываются два значения плотности продукта – паспортная (при +20°C) и фактическая, соответствующая температуре в цистерне при выполнении замера. Последовательность действий при определении плотностей следующая.

Из цистерны берется проба продукта – для анализа плотности и измерения температуры – в соответствии требованиями, установленными ГОСТ 2517-85 "Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб". Сразу же после взятия пробы измеряется температура, а сама проба передается в лабораторию. На основе данной пробы в лабораторных условиях определяется паспортная плотность продукта при +20°C. И только после этого отыскивается фактическая плотность, которую правильнее было бы назвать все же "условно-фактической". Условно-фактическая она потому, что находится не путем прямого измерения ареометром в пробе, взятой из цистерны, и сразу же после взятия пробы, а расчетным путем в лаборатории. Расчет осуществляется при помощи таблиц ГОСТ 3900-85 исходя из двух параметров: во-первых, найденной лабораторным путем паспортной плотности (при температуре +20°C); во-вторых, фактической температуре продукта в цистерне. Обе плотности – как паспортная, так и фактическая, – записывается в сопроводительном документе на отгрузку. Последний шаг: умножением фактической плотности на объем продукта в цистерне вычисляется масса продукта, за которую покупателю будет выставлен счет на соответствующую сумму.

И вот, оттолкнувшись от паспортной плотности, для достаточно большого числа цистерн, отгруженных за полтора года, нами был произведен расчет плотности нефтепродукта, которую он мог бы иметь при температуре, зафиксированной при отборе пробы в цистерне. Но для вычисления использовались уже не таблицы ГОСТ 3900-85, а алгоритм МИ 2632-2001, то есть отыскивалась своего рода альтернативная "условно-фактическая" плотность.

Обнаружилась любопытная картина: при температурах, меньших +20°C, ГОСТ 3900-85 дает заниженные значения плотности, чем методика МИ 2632-2001, тогда как при температурах, больших +20°C, ГОСТ 3900-85 дает завышенные значения плотности по сравнению с методикой МИ 2632-2001 (рис.4).

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 во всех случаях составила более 99,99%). Для удобства приведем результаты в табличном виде, предполагая, что $\rho(t)$ есть функция зависимости плотности от температуры t :

⁷ <http://www.imsholding.ru/publications/?n=1>

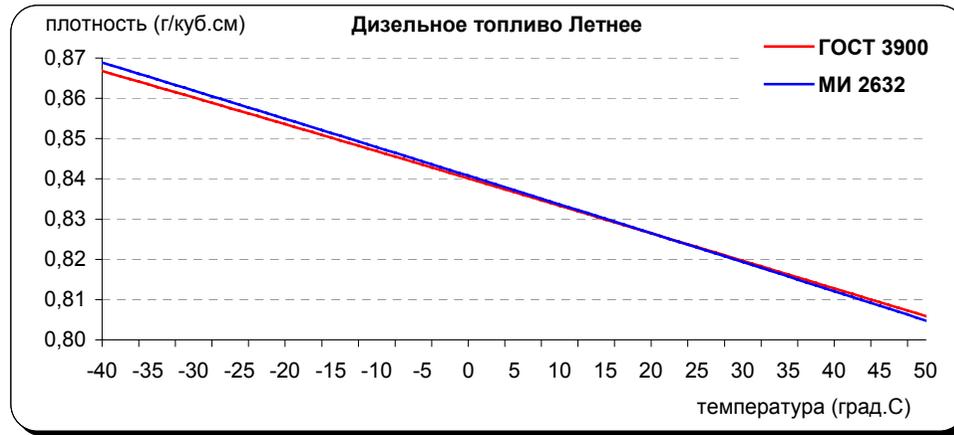
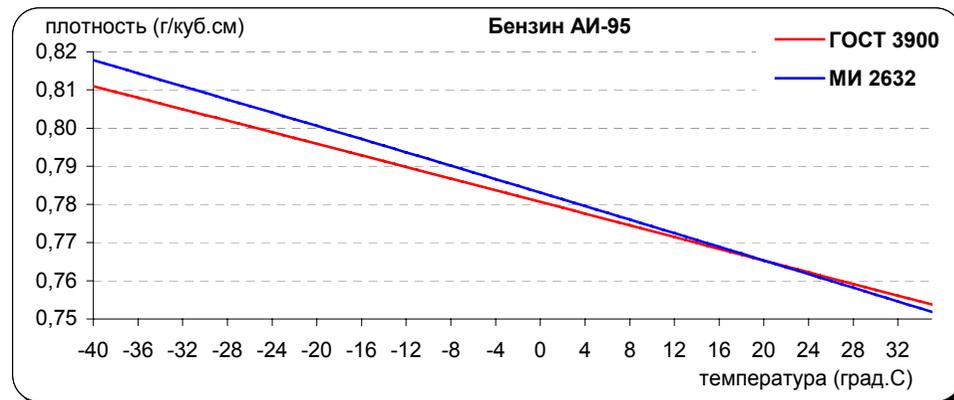
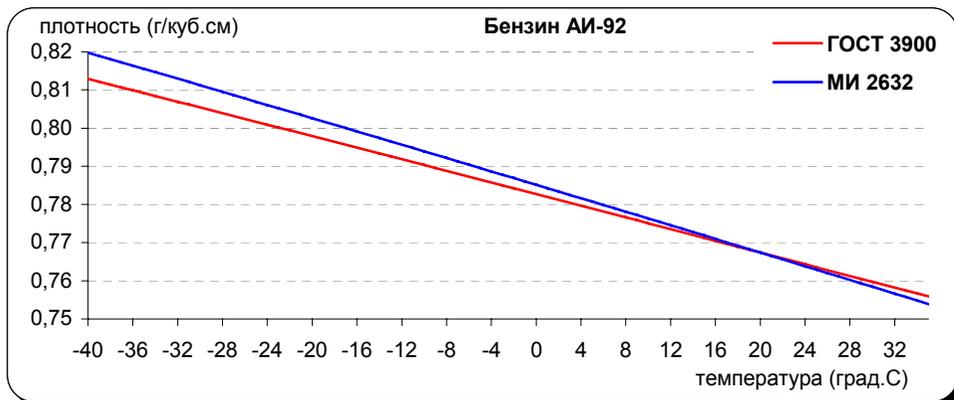
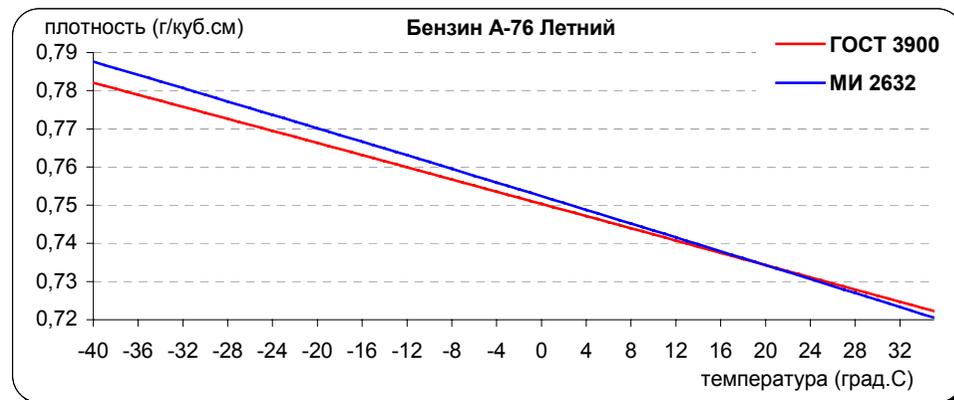


Рис.4. Зависимость плотности нефтепродуктов от температуры согласно ГОСТ 3900-85 и МИ 2632-2001

Нефтепродукты	ГОСТ 3900-85	МИ 2632-2001
бензин А-76 зимний (А-76 З)	$\rho(t) = -0,00082t + 0,73545$	$\rho(t) = -0,00090t + 0,73734$
бензин А-76 летний (А-76 Л)	$\rho(t) = -0,00080t + 0,75204$	$\rho(t) = -0,00089t + 0,75438$
бензин А-92 (А-92)	$\rho(t) = -0,00076t + 0,77770$	$\rho(t) = -0,00088t + 0,77999$
бензин А-95 (А-95)	$\rho(t) = -0,00076t + 0,77770$	$\rho(t) = -0,00088t + 0,78004$
дизельное топливо зимнее (ДТ З)	$\rho(t) = -0,00069t + 0,83200$	$\rho(t) = -0,00072t + 0,83258$
дизельное топливо летнее (ДТ Л)	$\rho(t) = -0,00068t + 0,84058$	$\rho(t) = -0,00071t + 0,84144$

Реальный масштаб искажений, возникающих в результате применения ГОСТ 3900-85, показывает статистика, приведенная в табл.1. По всем шести видам нефтепродуктов при температурах, меньших +20°C, средняя ошибка плотности принимает отрицательные значения (то есть в случае применения ГОСТ 3900-85 имеет место занижение плотности), и наоборот.

Таблица 1: Искажение плотности нефтепродуктов по ГОСТ 3900-85 в сравнении с МИ 2632-2001

Температура продукта в цистерне при отгрузке, °С	Средняя величина искажения плотности нефтепродукта в цистерне по ГОСТ 3900-85 (занижение – , завышение +)											
	А-76 Зимний		А-76 Летний		АИ-92		АИ-95		ДТ Зимнее		ДТ Летнее	
	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу
-25	-0,0039	0,31					-0,0055	1,41				
-24	-0,0038	1,36			-0,0055	0,18						
-23			-0,0045	0,08								
-22					-0,0053	0,09						
-21			-0,0042	0,16					-0,0012	0,08		
-20	-0,0033	0,21			-0,0046	0,05			-0,0013	0,07		
-19	-0,0034	0,84	-0,0041	0,24	-0,0047	0,27			-0,0013	0,01		
-18	-0,0033	1,89			-0,0046	0,05	-0,0043	0,71	-0,0012	0,03		
-17	-0,0033	0,63			-0,0045	0,41	-0,0044	0,71				
-16	-0,0032	1,68	-0,0038	0,72	-0,0043	0,37	-0,0041	0,71				
-15	-0,0031	2,62	-0,0036	0,64	-0,0041	0,64	-0,0042	4,59	-0,0011	0,13		
-14	-0,0030	1,78	-0,0036	1,05	-0,0040	0,37	-0,0041	1,77	-0,0011	0,08		
-13	-0,0029	3,67	-0,0035	0,56	-0,0040	1,74	-0,0039	2,47	-0,0007	0,03		
-12	-0,0028	6,39	-0,0033	1,37	-0,0039	0,82	-0,0038	1,06	-0,0008	0,28		
-11	-0,0027	0,52	-0,0033	0,72	-0,0037	1,46	-0,0037	1,06	-0,0008	0,17		
-10	-0,0027	5,03	-0,0031	1,77	-0,0037	4,07	-0,0035	1,06	-0,0009	0,24		
-9	-0,0026	2,52	-0,0030	0,56	-0,0035	2,47	-0,0034	2,47	-0,0009	0,23		
-8	-0,0026	3,56	-0,0030	1,05	-0,0033	4,29	-0,0034	1,77	-0,0009	0,16		
-7	-0,0025	3,25	-0,0028	0,81	-0,0032	2,88	-0,0033	3,18	-0,0008	0,37		
-6	-0,0024	4,30	-0,0027	1,77	-0,0032	2,74	-0,0032	1,77	-0,0007	1,16		
-5	-0,0023	8,39	-0,0027	1,61	-0,0031	4,29	-0,0030	3,18	-0,0007	1,27		
-4	-0,0023	7,76	-0,0025	1,77	-0,0029	4,43	-0,0029	1,41	-0,0007	0,48		
-3	-0,0021	8,49			-0,0028	4,16	-0,0028	2,47	-0,0007	2,71		
-2	-0,0021	5,35	-0,0023	1,61	-0,0027	2,10	-0,0026	7,07	-0,0006	2,84		
-1	-0,0020	3,04	-0,0022	1,21	-0,0026	2,42	-0,0025	8,13	-0,0006	1,32	-0,0007	0,38
0	-0,0019	9,85	-0,0021	1,05	-0,0025	2,79	-0,0025	4,95	-0,0006	2,96	-0,0007	0,21
1	-0,0018	3,67	-0,0020	0,56	-0,0023	1,92	-0,0024	2,83	-0,0006	1,74	-0,0006	0,09
2	-0,0017	4,82	-0,0020	0,97	-0,0022	2,19	-0,0023	5,30	-0,0005	3,48		
3	-0,0016	3,46	-0,0018	0,32	-0,0021	3,70	-0,0022	0,71	-0,0005	1,90	-0,0006	0,15
4	-0,0015	2,83	-0,0018	1,61	-0,0020	1,96			-0,0005	4,51		
5	-0,0014	0,42	-0,0017	1,85	-0,0019	1,78	-0,0020	2,12	-0,0005	5,58	-0,0005	0,06
6			-0,0015	2,01	-0,0018	2,24	-0,0018	3,18	-0,0004	3,38	-0,0005	0,33

Температура продукта в цистерне при отгрузке, °С	Средняя величина искажения плотности нефтепродукта в цистерне по ГОСТ 3900-85 (занижение – , завышение +)											
	А-76 Зимний		А-76 Летний		АИ-92		АИ-95		ДТ Зимнее		ДТ Летнее	
	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу	средняя ошибка, г/см ³	частота, в % к итогу
7			-0,0014	3,14	-0,0016	1,32	-0,0016	1,41	-0,0004	3,17	-0,0004	0,59
8	-0,0011	0,31	-0,0013	4,27	-0,0015	1,42			-0,0004	4,29		
9			-0,0012	4,67	-0,0014	1,46	-0,0014	2,47	-0,0003	4,01	-0,0004	0,33
10	-0,0010	0,31	-0,0011	7,89	-0,0013	4,75	-0,0013	3,18	-0,0003	6,42	-0,0003	1,45
11			-0,0010	4,67	-0,0012	1,78			-0,0003	2,41	-0,0003	0,83
12			-0,0009	4,03	-0,0010	1,10	-0,0010	3,18	-0,0002	4,92	-0,0003	1,01
13	-0,0007	0,21	-0,0008	2,58	-0,0009	1,83	-0,0009	2,83	-0,0002	3,97	-0,0002	1,75
14			-0,0006	3,22	-0,0008	3,70	-0,0008	1,41	-0,0002	3,09	-0,0002	0,50
15			-0,0005	3,22	-0,0006	3,24	-0,0006	2,47	-0,0001	4,00	-0,0002	1,18
16	-0,0004	0,31	-0,0004	3,70	-0,0005	2,06	-0,0005	2,83	-0,0001	4,29	-0,0001	0,95
17			-0,0003	2,82	-0,0004	3,88			-0,0001	2,97	-0,0001	3,40
18			-0,0002	3,78	-0,0003	2,47	-0,0003	3,18	-0,0001	2,69	-0,0001	0,83
19	-0,0001	0,21	-0,0001	3,22	-0,0001	0,32			0,0000	1,60	0,0000	2,84
20			0,0000	4,43	0,0000	2,15	0,0000	0,71	0,0000	2,97	0,0000	6,83
21			0,0001	2,17	0,0001	1,05			0,0000	1,16	0,0000	4,50
22			0,0002	2,50	0,0003	2,15	0,0003	1,41	0,0001	1,71	0,0001	4,05
23			0,0003	3,14	0,0004	2,56	0,0004	3,89	0,0001	1,47	0,0001	2,60
24			0,0004	2,66	0,0005	2,19	0,0005	1,06	0,0001	1,04	0,0001	4,23
25			0,0005	1,53	0,0006	0,69	0,0007	0,71	0,0002	1,85	0,0002	7,13
26			0,0006	0,97	0,0008	0,55			0,0002	0,33	0,0002	5,53
27			0,0008	0,64	0,0009	0,73	0,0009	0,71	0,0002	0,49	0,0002	6,27
28			0,0009	0,16	0,0010	0,18			0,0002	1,55	0,0003	4,11
29			0,0009	1,29	0,0012	0,23			0,0003	0,11	0,0003	3,40
30			0,0011	0,72	0,0013	0,37	0,0013	0,71	0,0003	1,07	0,0003	7,69
31			0,0012	1,53	0,0014	0,64	0,0014	0,71	0,0003	0,91	0,0004	1,51
32			0,0013	0,40	0,0015	0,32			0,0004	0,51	0,0004	2,96
33			0,0014	0,40					0,0004	0,60	0,0004	1,69
34			0,0015	0,16			0,0018	1,06	0,0004	0,05	0,0005	2,40
35									0,0004	0,29	0,0005	5,18
36									0,0005	0,05	0,0006	1,89
37									0,0005	0,29	0,0006	3,17
38									0,0006	0,19	0,0006	2,49
39									0,0006	0,19	0,0006	1,33
40									0,0006	0,05	0,0007	2,81
41									0,0006	0,04	0,0007	0,56
42											0,0007	0,41
43											0,0008	0,09
48											0,0009	0,12
53											0,0011	0,18
В среднем:	-0,0023	100,00	-0,0010	100,00	-0,0019	100,00	-0,0021	100,00	-0,0003	100,00	0,0002	100,00

Наибольшие занижения плотности (об этом можно судить по нижней строке табл.1), в среднем примерно составляющие 0,0020 г/см³ на цистерну, возникают по бензинам А-76 (зимний), АИ-92 и АИ-95. Меньшие занижения плотности наблюдаются по бензину А-76 (летний), который отгружается преимущественно летом (в среднем примерно –0,0010 г/см³ на цистерну), и зимнему дизельному топливу, которое вследствие его высокой вязкости обычно наливают в цистерны при более высокой температуре, чем бензины в среднем примерно – 0,0003 г/см³ на цистерну. Наконец, по летнему дизельному топливу плотность даже немного

завышается, в среднем на $0,0002 \text{ г/см}^3$ на цистерну, что обусловлено сразу двумя причинами: во-первых, основной объем отгрузки приходится на весну и лето; во-вторых, продукт при отгрузке обычно также имеет более высокую температуру.

В нашем распоряжении имеется статистика, которая действительно подтверждает негативное влияние ГОСТ 3900-85 при определении плотности нефтепродуктов поставщиками. Она представляет собой обработанные записи в журналах учета поступивших нефтепродуктов на нефтебазах, с одной стороны, и данные поставщиков по отгрузке, с другой.

По каждой железнодорожной цистерне для плотности нефтепродукта, найденной операторами нефтебаз при приемке, была рассчитана приведенная плотность при $+20^\circ\text{C}$ в соответствии с коэффициентами пересчета, установленными ГОСТ 3900-85. Далее из приведенной плотности продукта при приемке цистерны вычиталась указанная в отгрузочном документе (накладной) паспортная плотность продукта в цистерне. Тем самым находилось расхождение двух плотностей при $+20^\circ\text{C}$, одна из которых установлена при отгрузке продукта, а другая – при его приемке. Полученная статистика расхождений (рис.5-7) пригодна для проверки на критерий воспроизводимости результатов измерений согласно ГОСТ 3900-85.

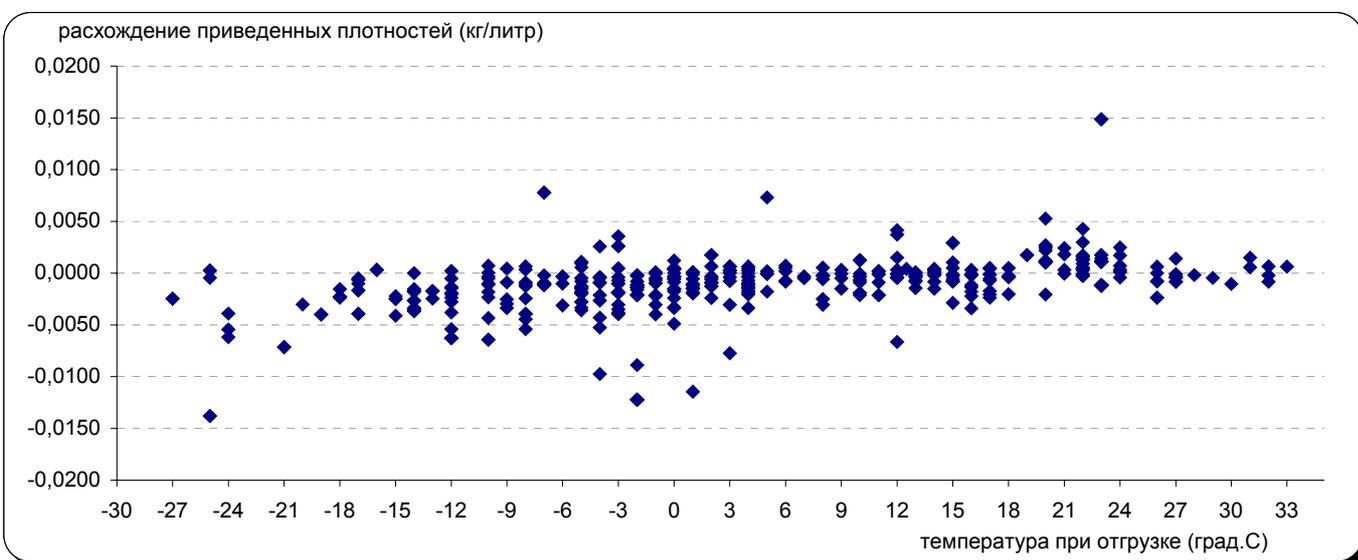


Рис.5. Расхождение между паспортной плотностью при отгрузке и плотностью при приемке, приведенной к 20°C , для бензина А-76 (зимнего, летнего)

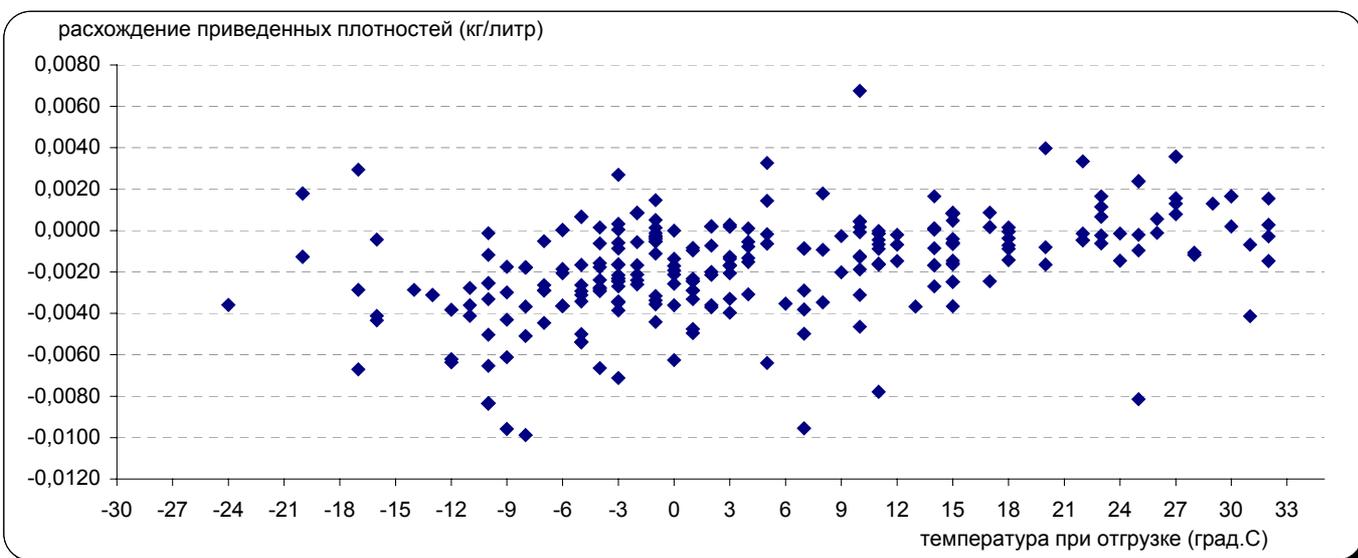


Рис.6. Расхождение между паспортной плотностью при отгрузке и плотностью при приемке, приведенной к 20°C , для бензина АИ-92

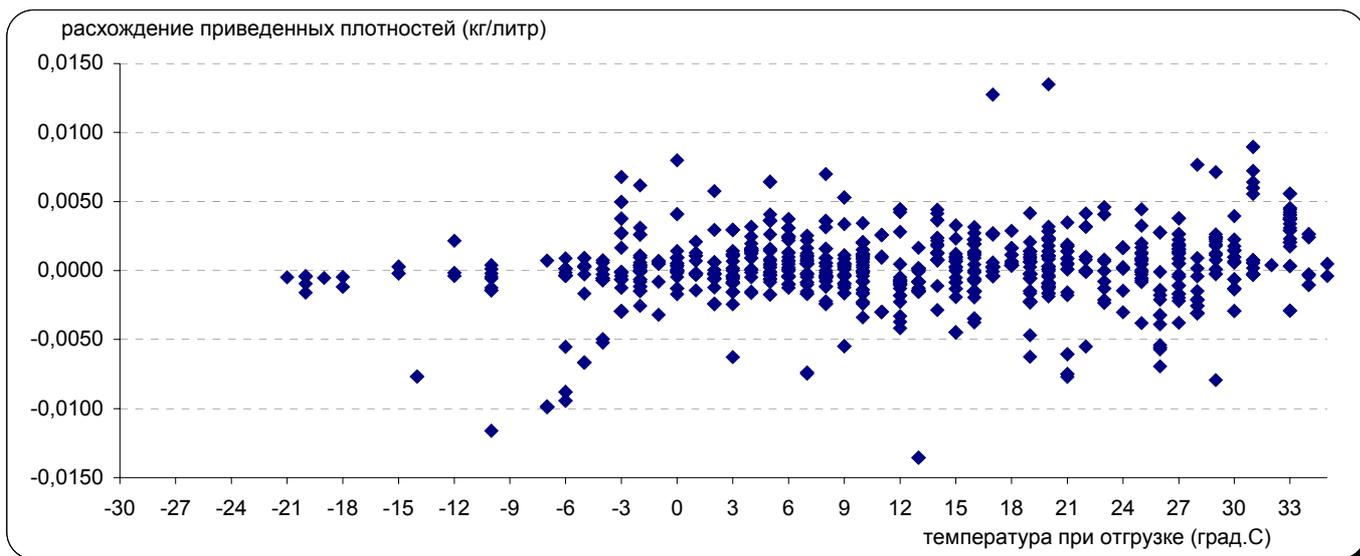


Рис.7. Расхождение между паспортной плотностью при отгрузке и плотностью при приемке, приведенной к 20°C, для дизельного топлива (зимнего, летнего)

На этих графиках, особенно по бензинам, четко прослеживается трендовое смещение расхождений из области отрицательных значений (при температурах, меньших +20°C) в область положительных значений (при температурах, меньших +20°C). Если учесть, что средняя температура отгрузки была значительно ниже +20°C, то это не является удивительным.

Обнаруживается, что по бензинам плотность, определяемая при приемке, устойчиво выше плотности, определяемой при отгрузке, что подтверждает делавшиеся в актах комплексных ревизий предположения, что операторы нефтебаз и АЗС не склонны преднамеренно занижать плотность при приемке. Это подтверждается средними значениями приведенных плотностей и среднеквадратических отклонений, представленными в табл.2.

Таблица 2: Статистика плотности нефтепродуктов, приведенных к +20°C, при отгрузке и приемке

Показатели	Бензин А-76 (зимний, летний)		Бензин АИ-92		Бензин АИ-95		Дизельное топливо	
	отгрузка	приемка	отгрузка	приемка	отгрузка	приемка	отгрузка	приемка
Средняя приведенная плотность (г/см ³)	0,7250	0,7261	0,7605	0,7622	0,7606	0,7610	0,8126	0,8125
Среднеквадратическое отклонение (г/см ³)	0,0099	0,0093	0,0062	0,0060	0,0078	0,0070	0,0095	0,0087
Средняя температура продукта при отгрузке (°С)	4,1°		3,6°		5,9°		13,6°	
Нарушение воспроизводимости по ГОСТ 3900-85, процент от общего числа сравнений плотности	44,99%		63,60%		50,00		47,19%	

Таким образом, расхождение средних значений приведенных плотностей по бензинам АИ-80 и АИ-92 превышает поправку 0,0007 (0,0011 для бензина АИ-80; 0,0017 для бензина АИ-92, 0,0004 для бензина АИ-95). Это дает основания полагать, что данное отклонение является систематическим, которое означает или занижение в отгрузочных документах масс масс нефтепродукта по сравнению с фактической, или же, наоборот, завышение при приемке по сравнению с фактической.

Меньшее среднеквадратическое отклонение приведенных плотностей при приемке по сравнению с аналогичным показателем при отгрузке однозначно свидетельствует, что точность определения нефтепродукта при приемке на нефтебазах и АЗС не ниже, а скорее даже выше, чем точность определения плотности поставщиками при отгрузке.

Наконец, в более чем половине случаев результаты измерений плотности не

удовлетворяют критерию воспроизводимости, установленному ГОСТ 3900-85. Поскольку средняя температура отгрузки существенно ниже +20°C (особенно по бензинам), то систематическое массовое нарушение критерия воспроизводимости результатов измерений косвенно подтверждает, что причина этого кроется не в точности замеров, выполняемых операторами поставщика и операторами нефтебаз, а в применении поставщиком ГОСТ 3900-85.

Ряды данных в табл.1 говорят о наличии отчетливой зависимости, близкой к линейной, между температурой и искажением плотности: чем больше отклоняется температура продукта от реперной величины +20°, тем больше искажение. Более того, эти ряды вполне подходят для установления параметров эмпирических зависимостей, поскольку были получены на базе большого объема информации (по понятным соображениям, в табл.1 указано не абсолютное количество проверенных цистерн, а только соответствующая той или иной температуре процентная доля в общем количестве цистерн, поэтому нам остается только заверить, что исходные выборки были репрезентативными).

Найденные эмпирические зависимости среднего искажения плотности нефтепродукта от температуры приведены ниже:

Нефтепродукты	Найденные прямым подбором зависимости на основе табл.1	Найденные как разность функций $\rho(t)$ для ГОСТ 3900-85 и МИ 2632-2001
бензин А-76 зимний (А-76 З)	$\Delta\rho(t) = 0,00008t - 0,00357$	$\Delta\rho(t) = 0,00008t - 0,00189$
бензин А-76 летний (А-76 Л)	$\Delta\rho(t) = 0,00010t - 0,00462$	$\Delta\rho(t) = 0,00009t - 0,00234$
бензин АИ-92 (АИ-92)	$\Delta\rho(t) = 0,00012t - 0,00547$	$\Delta\rho(t) = 0,00012t - 0,00229$
бензин АИ-95 (АИ-95)	$\Delta\rho(t) = 0,00012t - 0,00468$	$\Delta\rho(t) = 0,00012t - 0,00234$
дизельное топливо зимнее (ДТ З)	$\Delta\rho(t) = 0,00003t - 0,00124$	$\Delta\rho(t) = 0,00003t - 0,00058$
дизельное топливо летнее (ДТ Л)	$\Delta\rho(t) = 0,00003t - 0,00074$	$\Delta\rho(t) = 0,00003t - 0,00086$

В формулах приняты следующие обозначения:

$\Delta\rho(t)$ – функция искажения плотности нефтепродукта при использовании таблиц ГОСТ 3900-85 по сравнению с алгоритмом методики МИ 2632-2001 ($\text{г}/\text{см}^3$);

t – фактическая температура нефтепродукта в цистерне при отгрузке, указываемая в сопроводительном документе (°C).

Функции $\Delta\rho(t)$, найденные как разность функций $\rho(t)$ для ГОСТ 3900-85 и МИ 2632-2001, заметно более точны, поскольку точки перехода от одного вида искажения (занижения) и к другому (завышению) приходится на температуры, близкие к +20°C (в идеале эта точка перехода должна точно совпадать с температурой +20°C). В этой связи функции, найденные путем аппроксимации статистических данных, могут рассматриваться лишь в качестве иллюстрации и своего рода фон для сравнения, не более.

Как можно было бы воспользоваться полученными уравнениями?

Пусть, к примеру, покупателю отгружен бензин АИ-92 в количестве 64475 кг при температуре +3°C и плотностью $0,7711 \text{ г}/\text{см}^3$. Для этого случая паспортная плотность (при +20°C), найденная на основе ГОСТ 3900-85, составляет $0,7580 \text{ г}/\text{см}^3$. Эта плотность может быть указана в сопроводительном документе, а если же ее там нет, то она может быть легко вычислена непосредственно по таблицам ГОСТ 3900-85. На основе формулы, соответствующей бензину АИ-92, находим вероятное занижение плотности, вносимое данным стандартом:

$$\Delta\rho(t) = 0,00012 \times 3^\circ\text{C} - 0,00229 = -0,0019 \text{ г}/\text{см}^3.$$

Следовательно, возможный излишек продукта в цистерне составит:

$$\frac{-0,0019 \text{ г/см}^3}{0,7580 \text{ г/см}^3} \times 64475 \text{ кг} \approx 162 \text{ кг}.$$

Хотя особые комментарии к последней цифре не требуются – она уже сама по себе красноречива, – небольшой итог все же стоит подвести.

Среднегодовая температура на территории России, как известно, составляет -5°C , то есть существенно ниже $+20^{\circ}\text{C}$. Следовательно, искажения плотности, вносимые ГОСТ 3900-85, будут иметь односторонний характер, выражающийся в занижении находимой на основе данной стандарта "условно-фактической" плотности, соответствующей температуре отгружаемого продукта. В итоге при железнодорожных поставках на внутренний рынок нефтеперерабатывающими заводами, нефтебазами и наливными пунктами, если они применяют ГОСТ 3900-85 для определения плотности продукта, систематически отгружается большее количество нефтепродукта, чем при этом указывается в сопроводительных документах.

Последнее нужно понимать в том смысле, что альтернативы скорейшему внедрению на практике методики МИ 2632-2001 на сегодняшний день не существует.

Аннотация статьи

На основе проведенного анализа в статье обосновывается необходимость:

- уточнения калибровочных таблиц железнодорожных цистерн;
- измерения высоты разлива нефтепродуктов в цистернах с точностью до 1 мм;
- использования продавцами и покупателями МИ 2632-2001 вместо ГОСТ 3900-85;

В связи с разрабатываемыми в настоящее время новыми документами по коммерческому учету нефтепродуктов эти шаги станут естественными и гармоничными дополнениями, жизненно необходимыми для покупателя, поставщика и перевозчика.