

Измерение массы сжиженных газов в резервуаре.

Терешин В. И., ген. директор ЗАО «Техносенсор»

Совлуков А. С., д.т.н., профессор

В статье описываются физические принципы построения и работа датчика ДЖС-7М для измерения массы СУГ в резервуаре. Измерительная система СУ-5Д с датчиком ДЖС-7М обеспечивает:

Погрешность учета СУГ по массе не более $\pm 0,5\%$ при следующих условиях:

- диапазон изменения плотности СУГ от 470 кг/м^3 до 640 кг/м^3
- диапазон изменения температуры от -50°C до $+60^\circ\text{C}$
- состав СУГ задается в виде одного из пяти вариантов
- градиент температуры в резервуаре может достигать $\pm 5^\circ\text{C}$
- диапазон заполнения резервуара от 1 до 93%

Выдает в ПЭВМ и на индикаторы:

- общую массу СУГ в резервуаре
- температуру в шести точках на разных уровнях заполнения
- плотность пара
- плотность жидкости
- массу пара
- массу жидкости
- уровень жидкости

Сжиженные углеводородные газы (СУГ) представляют собой смесь пропана и бутана, в которой в небольшом количестве присутствуют метан, этан и другие компоненты. Плотность СУГ зависит от температуры и от состава смеси.

Из-за отсутствия достоверной информации о плотности СУГ традиционными методами измерения (через измерение уровня жидкости) не удастся обеспечить точный учет СУГ по массе.

Одна из проблем связана с тем, что при работе насосно-компрессорного оборудования возникает большой градиент температур внутри резервуара и невозможно учесть плотность и массу СУГ в каждом слое.

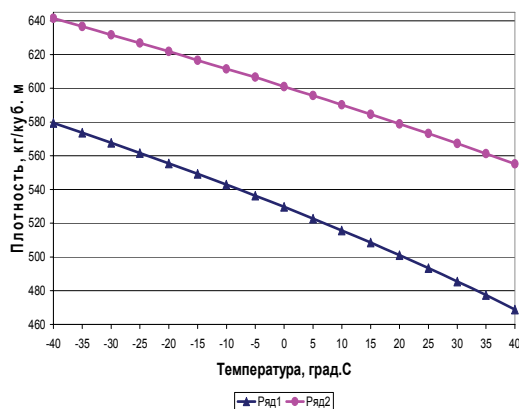


Рис. 1.

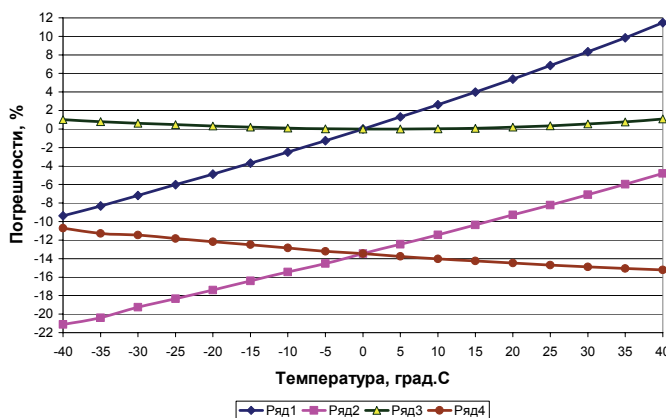


Рис. 2.

Традиционный метод измерения массы СУГ в резервуаре заключается в измерении уровня, вычислении по градуировочной таблице объема и вычислении массы как произведение объема на плотность.

Если неизвестно точное значение плотности, возникают дополнительные погрешности.

На рис.1 изображены зависимости плотности пропана от температуры (ряд 1) и плотности бутана от температуры (ряд 2).

На рис.2 смоделированы погрешности измерения массы СУГ в измерительной системе с датчиком уровня, настроенной на измерение пропана:

- Ряд 1 – погрешности измерения массы пропана без температурной коррекции
- Ряд 2 – погрешности измерения массы бутана без температурной коррекции
- Ряд 3 – погрешности измерения массы пропана с температурной коррекцией -0,26% на °C
- Ряд 4 – погрешности измерения массы бутана с температурной коррекцией -0,26% на °C (коррекция по температуре для пропана)

Такая измерительная система может с погрешностью около 1% измерять массу пропана (ряд 3), а при измерении массы бутана будет занижать показания до -15%.

Если выбрать усредненные для пропана и бутана настройки плотности и температурной коррекции, погрешности можно уменьшить, но они все равно слишком большие. Фактически при изменении состава СУГ даже при оптимальной температурной коррекции погрешность вычисления плотности может изменяться при низких температурах в диапазоне от -6% до +6%, а при высоких температурах в диапазоне от -8% до +8%.

Коэффициент температурной коррекции для вычисления плотности пропана - 0,26% на °C, поэтому требуется иметь точную информацию о температуре контролируемой среды. Если погрешность измерения температуры или градиент температур в резервуаре составит 2-4 °C, то это приведет к дополнительной погрешности вычисления плотности 0,5-1%.

Датчик ДЖС-7М – инвариантный к составу среды измеритель массы.

Точное достоверное измерение массы СУГ в резервуаре может быть обеспечено при помощи радиоволновых датчиков.

Радиоволновый датчик представляет собой коаксиальный резонатор (цилиндрический конденсатор), заполняемый контролируемой средой.

Электрическая емкость датчика (приращение емкости) пропорциональна уровню заполнения и диэлектрической проницаемости среды. Паровая фаза тоже дает приращение электрической емкости датчика, пропорциональное плотности пара и длине части датчика, находящейся в паре.

Кроме электрической емкости датчика измеряется температура контролируемой среды в 6 точках, датчики температуры расположены равномерно по длине датчика от минимального заполнения резервуара до максимального.

Сжиженные газы являются диэлектриками, их диэлектрическая проницаемость зависит от состава газа и от температуры.

Диэлектрическая проницаемость сжиженных газов пропорциональна их плотности.

Таким образом, емкость датчика пропорциональна произведению уровня на плотность, датчик фактически является измерителем массы СУГ.

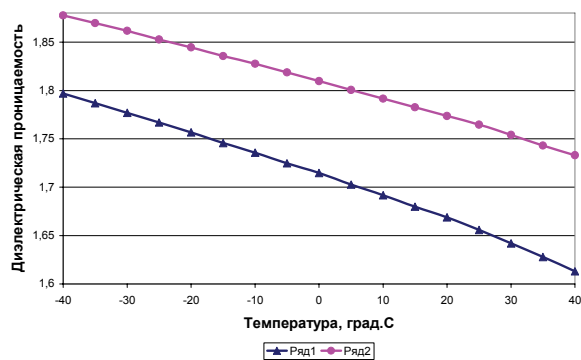


Рис. 3.

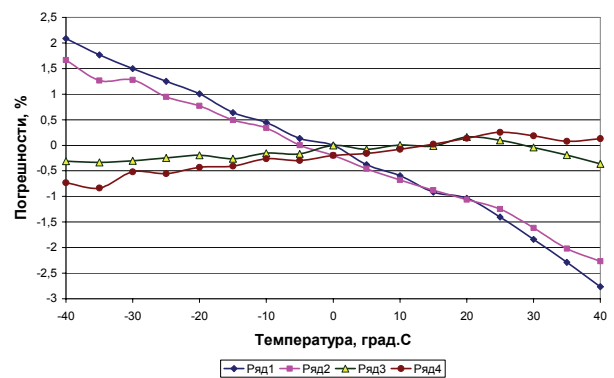


Рис. 4.

На рис. 3 изображены зависимости диэлектрической проницаемости пропана (ряд 1) и бутана (ряд 2) от температуры.

На рис. 4 смоделированы погрешности измерения массы СУГ в измерительной системе с радиоволновым датчиком, настроенным на измерение пропана:

- Ряд 1 – погрешности измерения массы пропана без температурной коррекции
- Ряд 2 – погрешности измерения массы бутана без температурной коррекции
- Ряд 3 – погрешности измерения массы пропана с температурной коррекцией +0,06% на °C
- Ряд 4 – погрешности измерения массы бутана с температурной коррекцией +0,06% на °C (коррекция по температуре для пропана)

Для построения графиков рис. 4 диэлектрические проницаемости промасштабированы (приведены к значению плотности пропана при температуре 0°C) умножением на коэффициент K , который пересчитывает диэлектрическую проницаемость в плотность.

$$K = \rho_{ж0} / (\epsilon_{ж0} - 1) \quad (1)$$

Где:

$\rho_{ж0} = 0,5297$ - плотность пропана при 0°C

$\epsilon_{ж0} = 1,7148$ - диэлектрическая проницаемость пропана при 0°C

По умолчанию $K = 0,5297 / (1 - 1,7148) = 0,7410$

Погрешности измерения массы для каждой температуры вычислены как разница между промасштабированными значениями приращений диэлектрической проницаемости (плотность, по которой работает датчик) и фактической плотностью (справочные данные), эта разность поделена на $\rho_{ж0} = 0,5297$ (плотность пропана при 0°C) умножена на 100%.

Такая измерительная система может с погрешностью не более $\pm 0,5\%$ измерять массу пропана (ряд 3) и с погрешностью не более $\pm 1\%$ измерять бутана (при настройке на измерение пропана, без учета погрешностей от неточного пересчета градуировочной таблицы).

Коэффициент температурной коррекции для вычисления плотности +0,06% на °C, допускается погрешность измерения температуры или градиент температур в резервуаре до 2-4 °C, то это приведет к дополнительной погрешности вычисления плотности 0,12-0,24%.

Приращение емкости датчика связано с параметрами контролируемой среды следующими формулами:

$$CS = CL \times [(\epsilon_{ж} - 1) \times h1 + (\epsilon_{г} - 1) \times (L1 - h1)] \quad (2)$$

Где: CL – удельная емкость датчика (электрическая емкость 1 м датчика в вакууме, CL=47 пФ)
 h1 – уровень заполнения датчика контролируемой средой
 L1 – длина датчика
 $\epsilon_{ж}$ – диэлектрическая проницаемость жидкости
 $\epsilon_{г}$ – диэлектрическая проницаемость газа (пара)

Выходной параметр датчика – данные о массе контролируемого продукта:

$$D = K \times (L0 - X0) \times CS \times (1 + TS \times t7) / (CL \times \rho_0) + X0 \quad (3)$$

Где:

TS – коэффициент температурной коррекции плотности (см. рис.5), для СУГ TS=0,0006
 t7 – температура контролируемой среды, °C (датчик обеспечивает измерение температуры в 6 точках, по умолчанию используется температура t7)

ρ_0 – плотность жидкой фазы контролируемого продукта при температуре 0°C (подстройка под сорт продукта), по умолчанию выбирается $\rho_0=0,5297$ (плотность пропана при температуре 0°C). Этот параметр может периодически меняться, вводится с ПЭВМ как подстройка под сорт продукта (можно этого не делать, это дополнительная опция).

CL – удельная емкость датчика в вакууме, CL=47 пФ/м

X0 – высота подвеса датчика (расстояние от дна резервуара до нижнего конца датчика), мм

L0 – уровень при заполнении по объему на 100% (максимальный уровень), мм

K – настроечный коэффициент.

Коэффициент K пересчитывает диэлектрическую проницаемость в плотность и используется при необходимости для подстройки максимума.

$$K = \rho_{ж0} / (\epsilon_{ж0} - 1)$$

Где:

$\rho_{ж0} = 0,5297$ – плотность пропана при 0°C

$\epsilon_{ж0} = 1,7148$ – диэлектрическая проницаемость пропана при 0°C

По умолчанию $K = 0,5297 / (1 - 1,7148) = 0,7410$

Параметр D имеет размерность уровня в мм, это необходимо для возможности использования градуировочной таблицы и для выдачи значения уровня. Параметр D может отличаться от истинного значения уровня на несколько процентов (пропорционально отношению истинного значения плотности к ρ_0)

По градуировочной таблице вычисляется объем как функция от параметра D:

$$V = F_{GR}(D) \quad (4)$$

Масса вычисляется по формуле:

$$M = V \times \rho_0 \quad (5)$$

Измерение температуры.

Температура измеряется в 6 точках, датчики температуры расположены равномерно по длине датчика от минимального заполнения резервуара до максимального.

Точки измерения температуры располагаются на уровнях, соответствующих 5%, 23%, 41%, 59%, 77% и 95% от максимального уровня (если при заказе оборудования не были поставлены другие требования по расположению точек измерения температуры).

Это позволяет иметь точную достоверную информацию о температуре пара и о температуре жидкости. Датчики, расположенные ниже текущего уровня заполнения резервуара,

измеряют температуру жидкости. Датчики, расположенные выше текущего уровня заполнения резервуара, измеряют температуру пара.

Для вычислений производится анализ расположения датчиков (находятся в жидкости или в паре) и вычисляется среднее значение температуры жидкости и температуры пара.

Датчики, которые могут оказаться на границе раздела жидкости и пара, исключаются. Для исключения ошибок используется условие – датчик №7 (самый нижний) используется только для измерения температуры жидкости, датчик №2 (самый верхний) используется только для измерения температуры пара. Датчик №1 находится на плате электронного преобразователя и в измерении температуры контролируемой среды не участвует. В дальнейшем температуру жидкости (усредненное значение) обозначаем t_7 , температуру пара – t_2 .

Инструментальные погрешности датчиков температуры (см. рис.) в диапазоне от -10°C до 85°C не превышают $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, в диапазоне от -55°C до 125°C не превышают $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Датчик температуры потребляет ток 1,5 мА при напряжении питания +3,3В, это приводит к его нагреву протекающим током на 1-2 $^{\circ}\text{C}$. Для исключения этой погрешности датчики подключаются кратковременно, только на время измерения температуры, при этом нагрев от протекающего тока не превышает 0,5 $^{\circ}\text{C}$. Погрешность дискретности показаний 0,0625 $^{\circ}\text{C}$

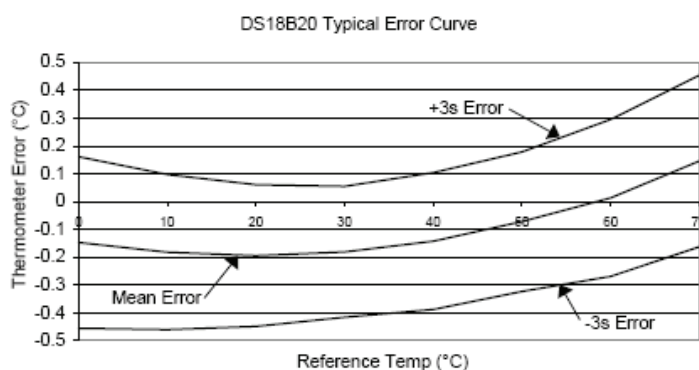


Рис. 5. Погрешности датчиков температуры.

Погрешности из-за неточного пересчета градуировочной таблицы.

При вычислении объема и массы СУГ по формулам (4) и (5) может возникать дополнительная погрешность, связанная с тем, что параметр D не равен истинному значению уровня. Если истинная плотность равна ρ_0 (плотность продукта при температуре 0 $^{\circ}\text{C}$), то параметр D будет равен истинному значению уровня. В других случаях параметр D может отличаться от истинного значения уровня на несколько процентов (пропорционально отношению истинного значения плотности к ρ_0).

Для вертикального цилиндрического резервуара это не будет приводить к дополнительной погрешности, потому что насколько больше или меньше истинного будет величина объема, вычисленного по формуле (4), пропорционально на столько же будем уменьшена или увеличена величина массы, вычисляемой по формуле (5) за счет того, что величина ρ_0 не равна истинному значению плотности.

Рассчитаем погрешности, возникающие для горизонтального цилиндрического резервуара - типового резервуара для хранения СУГ.

Если плотность жидкости равна ρ_0 , то параметр D равен истинному значению уровня и вычисление объема по градуировочной таблице и массы производится без дополнительных погрешностей.

Если плотность жидкости больше или меньше ρ_0 , то соответственно, по градуировочной таблице будут браться точки пропорционально для больших или меньших значений уровня. Фактически мы должны рассчитать таблицу с увеличенным или уменьшенным шагом, а полученный результат (объем) пропорционально уменьшить или увеличить.

На рис. 6 изображены градуировочные графики, полученные таким образом, а на рис. 7 графики дополнительных погрешностей в зависимости от объема заполнения резервуара.

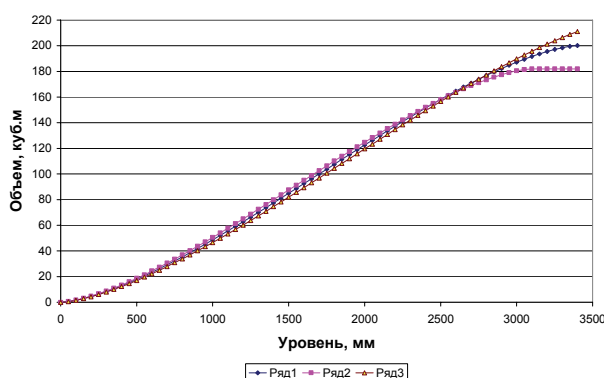


Рис. 6.

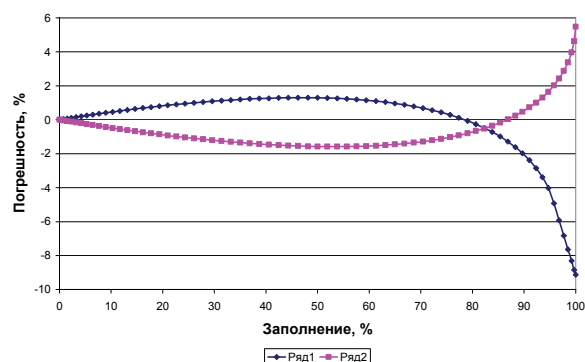


Рис. 7.

На рис. 6 ряд 1 показана градуировочная характеристика емкости объемом 200 м^3 (диаметр 3400 мм, длина цилиндрической части 20800 мм, высота доннышек 928 мм) и расчетные характеристики, по которым будет вычисляться объем при увеличении плотности на 10% (ряд 2) и при уменьшении плотности на 10% (ряд 3).

На графике это характеристика. В верхней части характеристики ряд 2 наблюдается пологий участок. Это связано с тем, что для значений уровня больше максимального данные в таблице отсутствуют. Этого можно избежать, если продлить таблицу для значений больше максимального уровня (для устранения погрешности).

На рис 7 показаны зависимости дополнительных погрешностей измерения массы СУГ заполнения резервуара при увеличении плотности продукта на 10% относительно ρ_0 (ряд 1) и при уменьшении плотности продукта на 10% относительно ρ_0 (ряд 2).

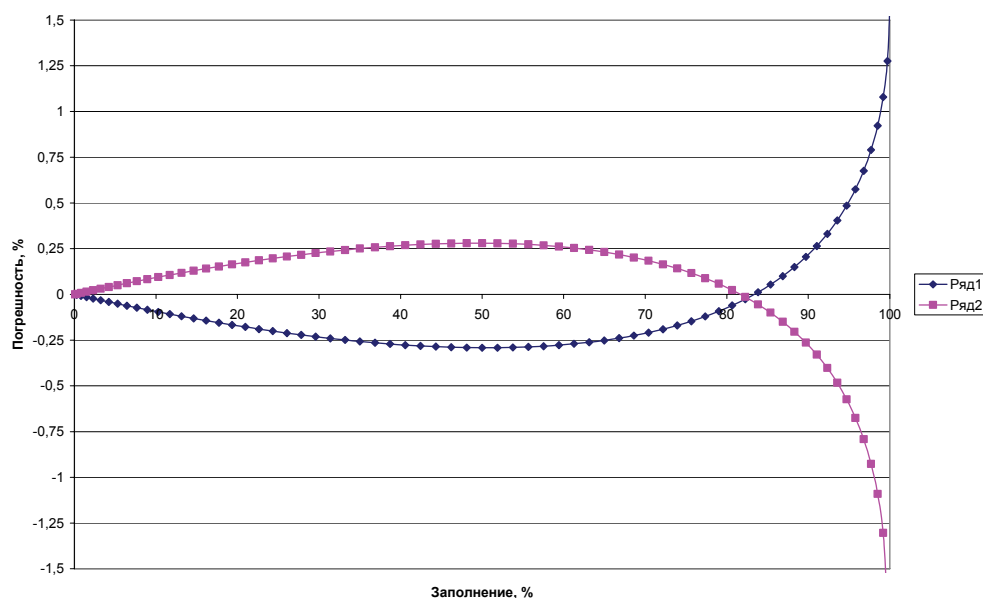


Рис. 8.

На рис 8 показаны зависимости дополнительных погрешностей измерения массы СУГ заполнения резервуара при увеличении плотности продукта на 2% относительно ρ_0 (ряд 1) и при уменьшении плотности продукта на 2% относительно ρ_0 (ряд 2).

Для резервуаров со сжиженным газом максимально допустимое заполнение по правилам безопасной эксплуатации составляет для наземных резервуаров 85%, для подземных резервуаров – 90%. Эксплуатация объектов при переполнении резервуаров запрещена, поэтому для учета достаточно обеспечить низкие погрешности в диапазоне заполнения резервуара до 90%. Датчик не обеспечивает учет в зоне от дна резервуара до нижней точки датчика (около 1% заполнения).

Таким образом, простейший радиоволновый датчик массы обеспечивает суммарную погрешность учета СУГ по массе не более $\pm 2\%$ при следующих условиях:

- *диапазон изменения плотности СУГ от 470 кг/м^3 до 640 кг/м^3*
- *диапазон изменения температуры от -40°C до $+50^\circ\text{C}$ или более широкий*
- *состав СУГ и плотность СУГ неизвестны*
- *градиент температуры в резервуаре может достигать $\pm 5^\circ\text{C}$*
- *диапазон заполнения резервуара от 1 до 90%*

Повышение точности учета

Для повышения точности учета СУГ радиоволновым датчиком ДЖС-7 были произведены следующие доработки алгоритмов и программного обеспечения:

- Для каждого резервуара в память контроллера вводится вручную с ПЭВМ сорт контролируемого продукта в виде одного из пяти вариантов:

G1 – чистый пропан

G2 – пропана 75%

G3 – пропана 50%

G4 – пропана 25%

G5 – чистый бутан

Примечание: могут задаваться любые 5 сортов для любых сред, их описания хранятся в контроллере в табличном виде и могут редактироваться пользователем.

- Вычисление массы производится не по упрощенным формулам (3), (4), (5), а по полным алгоритмам, которые обеспечивают:
 - вычисление плотности пара (с учетом состава пара и температуры пара)
 - вычисление плотности жидкости (с учетом состава и температуры)
 - вычисление массы пара
 - вычисление массы жидкости
 - точное вычисление уровня жидкости
 - точное вычисление запасов СУГ в резервуаре

Работающий по доработанным алгоритмам радиоволновый датчик массы обеспечивает суммарную погрешность учета СУГ по массе не более $\pm 0,5-0,75\%$ при следующих условиях:

- *диапазон изменения плотности СУГ от 470 кг/м^3 до 640 кг/м^3*
- *диапазон изменения температуры от -40°C до $+50^\circ\text{C}$ или более широкий*
- *состав СУГ задается в виде одного из пяти вариантов*
- *градиент температуры в резервуаре может достигать $\pm 5^\circ\text{C}$*
- *диапазон заполнения резервуара от 1 до 93%*

Алгоритмы и рабочие формулы.

Использование 5 вариантов настроек при наличии данных о температуре продукта позволяет достаточно точно вычислить плотность и массу пара, плотность и массу жидкости и уровень жидкости.

Эти параметры важны для организации учета. Масса пара при высоких температурах может быть весьма значительна (до 5% от массы жидкого СУГ при полном заполнении резервуара) и является неотпускаемым остатком СУГ в резервуаре. Вместе с тем пар является товарным запасом, при заполнении резервуара пар конденсируется и может добавить до 5% к объему жидкости в резервуаре.

Точное значение уровня важно знать для формирования команд аварийной сигнализации и блокировки работы оборудования при переполнении резервуара.

Вычисление плотности жидкого СУГ

В памяти контроллера имеется таблица следующего вида:

Табл. 1

Температура, °C	Плотность пропана	Плотность смеси пропана 75%	Плотность смеси пропана 50%	Плотность смеси пропана 25%	Плотность бутана
-40	579,4	594,925	610,45	625,975	641,5
-35	573,7	589,45	605,2	620,95	636,7
-30	567,7	583,7	599,7	615,7	631,7
-25	561,6	577,9	594,2	610,5	626,8
-20	555,5	572,075	588,65	605,225	621,8
-15	549,3	566,125	582,95	599,775	616,6
-10	542,9	560,05	577,2	594,35	611,5
-5	536,4	553,95	571,5	589,05	606,6
0	529,7	547,525	565,35	583,175	601
5	522,8	541,025	559,25	577,475	595,7
10	515,8	534,4	553	571,6	590,2
15	508,6	527,6	546,6	565,6	584,6
20	501,1	520,55	540	559,45	578,9
25	493,4	513,35	533,3	553,25	573,2
30	485,5	505,95	526,4	546,85	567,3
35	477,5	498,45	519,4	540,35	561,3
40	468,9	490,475	512,05	533,625	555,2

В таблице 1 для каждого из 5 вариантов настроек приведены зависимости плотности от температуры. Рабочая таблица составляется с шагом дискретности по температуре 1°C.

Таблица может редактироваться пользователем для более точного задания вариантов свойств контролируемых сред. Для составления таблицы используются справочные данные по физическим свойствам контролируемых сред.

Вычисление плотности пара СУГ

Состав жидкого СУГ и состав пара СУГ значительно отличаются, кроме тех случаев, когда в резервуаре находится однокомпонентный продукт – пропан или бутан.

Упругость насыщенных паров СУГ возрастает с повышением температуры. Согласно закону Дальтона, общее давление паров смеси является суммой парциальных давлений паров, входящих в состав смеси.

$$p_i = g_i \times p \quad (6)$$

где p_i – парциальное давление паров компонента

g_i – молярная доля компонента в паровой фазе

p – общее давление

По закону Рауля парциальное давление компонента смеси определяется упругостью паров этого компонента при данной температуре и молярной долей его в жидкой фазе.

$$p_i = x_i \times p_i^{\text{ж}} \quad (7)$$

где p_i – парциальное давление паров компонента

x_i – молярная доля компонента в жидкой фазе

$p_i^{\text{ж}}$ – упругость паров чистого компонента при данной температуре

Для вычисления плотности пара СУГ сперва по справочным данным о давлении пропана и бутана при различных температурах $p_i^{\text{ж}}$ вычисляется для каждого значения температуры парциальное давление каждого компонента p_i в зависимости от его доли x_i в жидкой фазе.

Затем вычисляется плотность каждого компонента в смеси как произведение плотности при нормальных условиях (для пропана 2,019 кг/м³, для бутана 2,703 кг/м³).

Плотность смеси определяется как сумма плотностей всех компонентов в смеси.

В память контроллера заносится таблица следующего вида:

Табл. 2

Температура, °C	Плотность паров пропана	Плотность паров смеси (пропана в жидкости 75%)	Плотность паров смеси (пропана в жидкости 50%)	Плотность паров смеси (пропана в жидкости 25%)	Плотность Паров бутана
-50	1,23159	0,977753	0,723915	0,470078	0,21624
-45	1,79691	1,428773	1,060635	0,692498	0,32436
-40	2,30166	1,834365	1,36707	0,899775	0,43248
-35	2,88717	2,300528	1,713885	1,127243	0,5406
-30	3,49287	2,795348	2,097825	1,400303	0,70278
-25	4,19952	3,386153	2,572785	1,759418	0,94605
-20	5,00712	4,066185	3,12525	2,184315	1,24338
-15	5,95605	4,857621	3,759192	2,660763	1,562334
-10	7,04631	5,833442	4,620573	3,407705	2,194836
-5	8,35866	6,928527	5,498394	4,068261	2,638128
0	9,73158	8,089313	6,447045	4,804778	3,16251
5	11,22564	9,372038	7,518435	5,664833	3,81123
10	13,04274	10,91394	8,785133	6,656329	4,527525
15	14,96079	12,57615	10,1915	7,806861	5,422218
20	17,08074	14,56751	12,05427	9,541035	7,0278
25	19,52373	16,80655	14,08937	11,37219	8,655006
30	22,06767	19,03076	15,99384	12,95693	9,92001
35	24,85389	21,45154	18,04919	14,64683	11,24448
40	28,18524	24,41699	20,64875	16,8805	13,11225
45	31,41564	27,24524	23,07485	18,90445	14,73405
50	35,02965	30,49635	25,96305	21,42975	16,89645

В таблице 2 для каждого из 5 вариантов настроек приведены зависимости плотности пара от температуры. Рабочая таблица составляется с шагом дискретности по температуре 1°C.

Например, для смеси жидкого СУГ 50% пропана и 50% бутана при температуре +25°C плотность пара составит 14,09 кг/м³

Эта плотность пара складывается из плотности пропана в смеси – 9,76 кг/м³ и плотности бутана в смеси – 4,33 кг/м³ (по результатам расчетов плотности компонентов).

Таблица может редактироваться пользователем для более точного задания вариантов свойств контролируемых сред.

Вычисление уровня, объема и массы

Приращение емкости датчика связано с параметрами контролируемой среды следующей формулой (2):

$$CS=CL\times[(\epsilon_{ж}-1)\times h1+(\epsilon_{г}-1)\times(L1-h1)]$$

Где: CL – удельная емкость датчика (электрическая емкость 1 м датчика в вакууме, CL=47 пФ)

h1 – уровень заполнения датчика контролируемой средой

L1 – длина датчика

$\epsilon_{ж}$ – диэлектрическая проницаемость жидкости

$\epsilon_{г}$ – диэлектрическая проницаемость газа (пара)

Значения диэлектрической проницаемости жидкости $\epsilon_{ж}$ и диэлектрической проницаемости пара $\epsilon_{г}$ вычисляются по формулам:

$$\epsilon_{ж}=1+ \rho_{ж}/[K\times(1+TS\times t7)] \quad (8)$$

$$\epsilon_{г}=1+ \rho_{г}/[K\times(1+TS\times t2)] \quad (9)$$

где t7 – температура жидкости

t2 – температура пара

TS – коэффициент температурной коррекции плотности (см. рис.5), для СУГ TS=0,0006

K – настроечный коэффициент.

Коэффициент K пересчитывает диэлектрическую проницаемость в плотность и используется при необходимости для подстройки максимума.

$$K=\rho_{ж0}/(\epsilon_{ж0}-1)$$

Где:

$\rho_{ж0}$ = 0,5297 - плотность пропана при 0°C

$\epsilon_{ж0}$ = 1,7148 - диэлектрическая проницаемость пропана при 0°C

По умолчанию K=0,5297/(1-1,7148)=0,7410

Из формулы (2) находим уровень заполнения датчика контролируемой средой h1.

Уровень жидкости в резервуаре:

$$H=h1+X0 \quad (10)$$

Где X0 – высота подвеса датчика (расстояние от дна резервуара до нижнего конца датчика), мм

Объем жидкости V вычисляется по градуировочной таблице как функция от уровня (для каждого значения уровня в таблице имеется значение объема, определенное путем выполнения контрольного слива жидкости или расчетным путем по геометрии резервуара):

$$V=F_{GR}(H) \quad (11)$$

Масса жидкого СУГ в резервуаре вычисляется по формуле:

$$M_{\text{ж}} = V \times \rho_{\text{ж}} \quad (12)$$

Где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность
 V – объем.

Масса пара вычисляется по формуле:

$$M_{\text{г}} = (V_0 - V) \times \rho_{\text{г}} \quad (13)$$

Общая масса СУГ в резервуаре

$$M = M_{\text{ж}} + M_{\text{г}} \quad (14)$$

Габаритный чертеж датчика ДЖС-7М

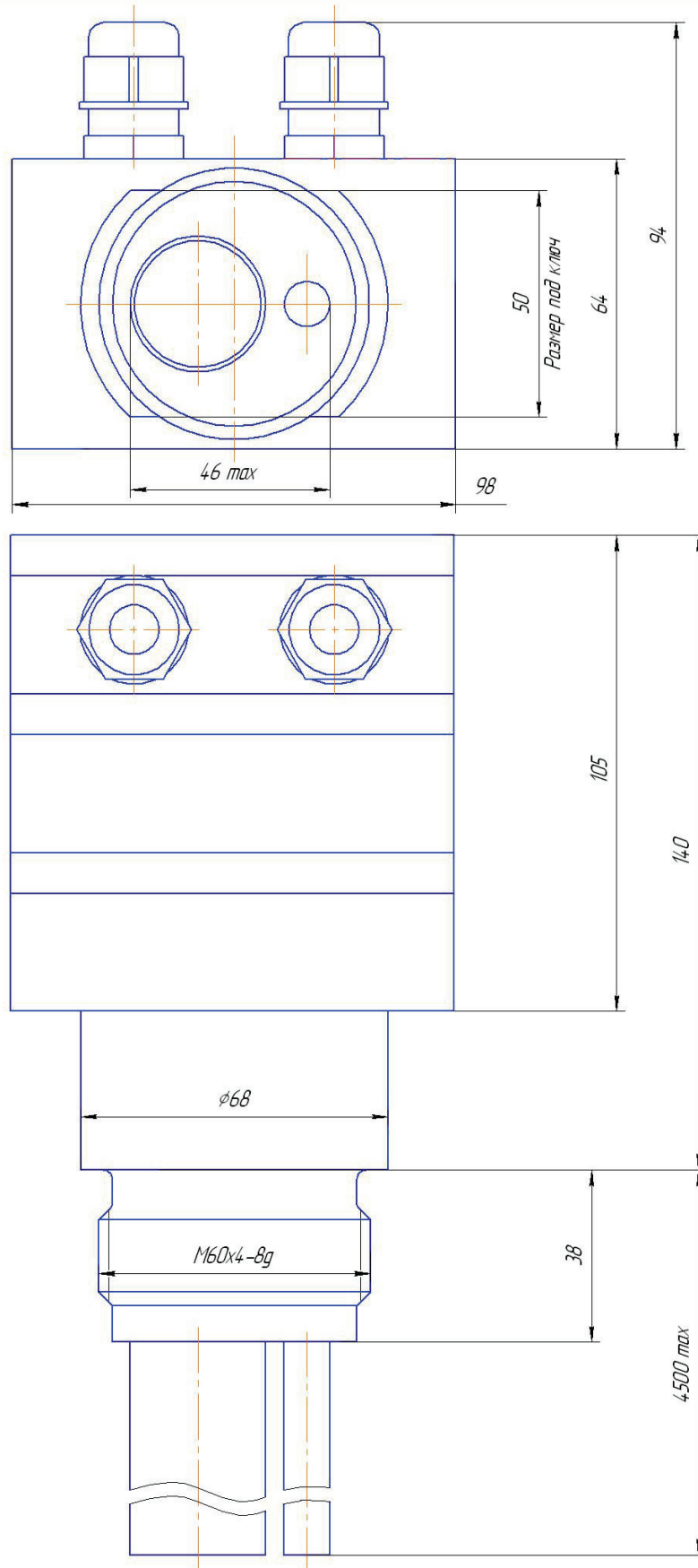


Рис. 9.

Для установки датчика требуется лючок с проходным отверстием не менее 46 мм.

Установка датчика ДЖС-7М на резервуаре

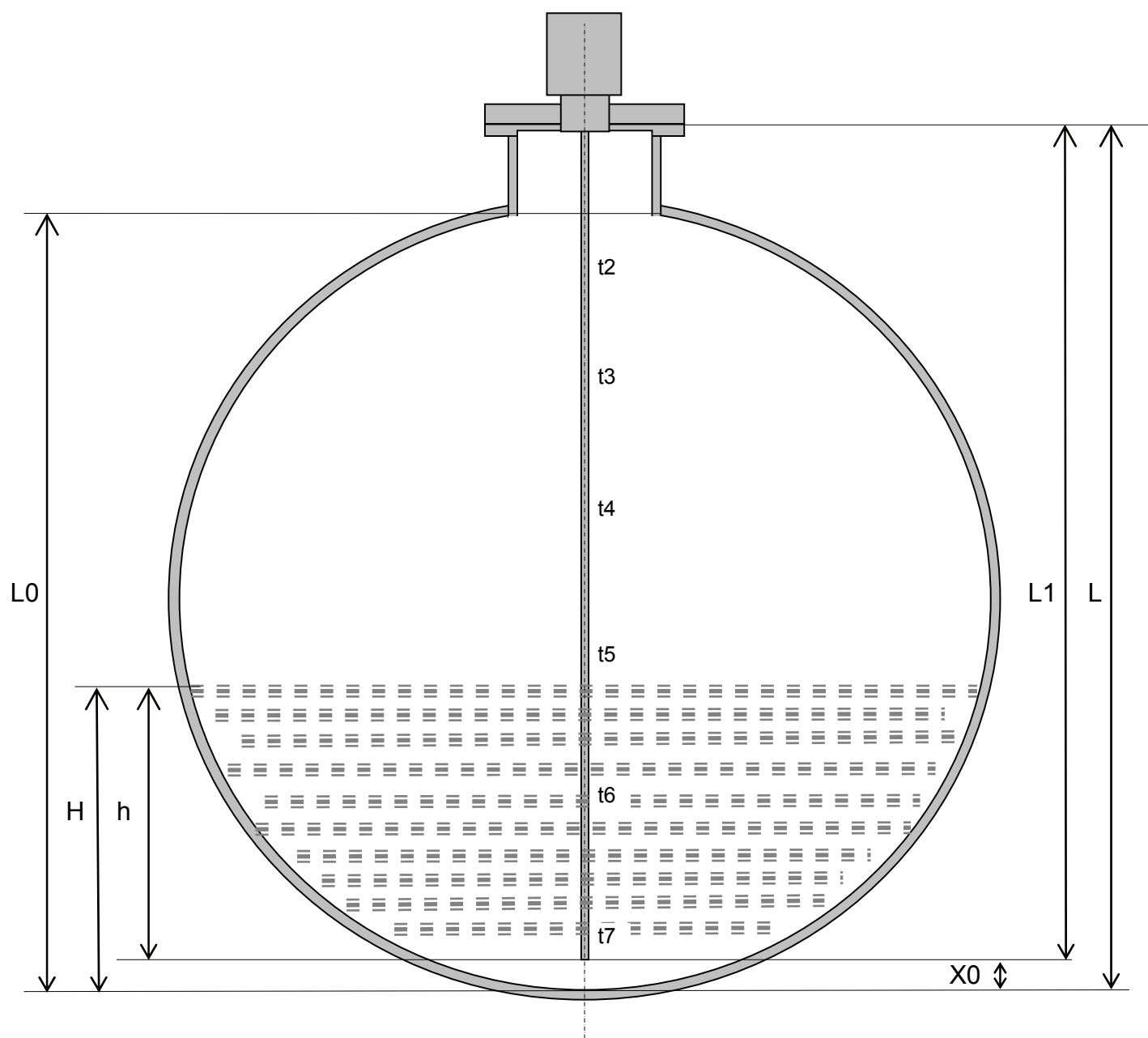


Рис. 10.

H – уровень СУГ

L_1 – длина датчика

L – расстояние от края лючка до дна резервуара

$X_0 = L - L_1$ – расстояние от дна до конца датчика

L_0 – уровень при заполнении на 100% объема

h – уровень заполнения датчика контролируемой средой

$t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7$ – точки расположения датчиков температуры

Практические результаты

Принято считать, что трудности с обеспечением точного учета СУГ в резервуарном парке связаны с отсутствием достоверной информации о плотности.

На самом деле, даже при точном определении плотности СУГ не всегда удается обеспечить точный и достоверный учет. Для примера рассмотрим процесс налива железнодорожных цистерн из резервуаров ГНС.

Информация от датчиков по интерфейсу RS-485 поступает на блоки искрозащиты ИЗК-3, в которых производится математическая обработка и вычисление контролируемых параметров, с блоков искрозащиты информация через адаптер RS-485 – USB поступает в ПЭВМ, отображается в графическом, мнемоническом, табличном виде и в виде отчетов и передается на удаленные (клиентские) компьютеры. В табл. 3 показан отчет по результатам налива железнодорожных цистерн, сформированный рабочей программой.

Табл. 3. Отчет по движению СУГ с 10:15:00 по 15:05:00

Емкость	Масса жидкости, т			Масса пара, т			Общая масса, т		
	начальное	конечное	разница	начальное	конечное	разница	начальное	конечное	разница
№1	104,124	104,855	0,731	0,077	0,089	0,012	104,201	104,944	0,743
№2	2,543	2,612	0,069	0,404	0,683	0,279	2,947	3,295	0,348
№3	7,095	7,707	0,612	0,384	0,653	0,269	7,479	8,36	0,881
№4	0,868	1,855	0,987	0,398	0,667	0,269	1,266	2,522	1,256
№5	9,1	9,727	0,627	0,373	0,622	0,249	9,473	10,349	0,876
№6	1,087	1,091	0,004	0,401	0,692	0,291	1,488	1,783	0,295
№7	6,626	7,285	0,659	0,385	0,659	0,274	7,011	7,944	0,933
№8	58,958	3,291	-55,667	0,225	0,614	0,389	59,183	3,905	-55,278
№9	110,315	5,223	-105,092	0,045	0,603	0,558	110,36	5,826	-104,534
№10	9,549	9,91	0,361	0,374	0,645	0,271	9,923	10,555	0,632
ИТОГО:	310,265	153,556	-156,709	3,066	5,927	2,861	313,331	159,483	-153,848

Перекачка СУГ выполнялась из резервуаров № 8 и № 9 с помощью компрессора. На рис.11 изображены тренды слива СУГ.



Рис. 11. Тренды массы.

В 10 часов 22 минуты начался слив из резервуара №8. В 11 часов 40 минут открыли слив из резервуара № 9.

До 13 часов кроме слива происходило перетекание из резервуара № 9 в резервуар № 8. В 15 часов 02 минуты слив закончился.

Визуально по трендам в остальных резервуарах количество газа изменилось незначительно. На самом деле, кроме слива наблюдалось перетекание СУГ в остальные резервуары, это хорошо видно по таблице рис. 2. В общей сложности перетекло +4050 кг СУГ.

Часть жидкости перешла в пар. При работе компрессора газ нагревается, и масса пара увеличивается. В общей сложности масса пара увеличилась на +2861 кг (см. таблицу 3).

Результирующее значение изменения массы СУГ с учетом перетекания жидкости и изменения массы пара составляет -153848 кг (см. таблицу 3).

Точность измерений можно проконтролировать по весам (взвешиванием железнодорожных цистерн).

В таблице 4 рассчитана разница показаний по весам и по резервуарному парку для изменения массы СУГ с учетом перетекания жидкости и изменения массы пара (обеспечивают датчики ДЖС-7 и программа на ПЭВМ), а также без учета изменения массы пара и без учета перетекания жидкости.

Табл. 4. Расчет погрешностей.

Контролируемые параметры	Учет по 2-м емкостям	Учет по всем емкостям	Учет по всем емкостям и по массе пара
Слили из емкостей 8, 9, кг	160759	160759	160759
Перетекло в емкости 1-7 и 10, кг	Не учитываем	-4050	-4050
Перешло в пар, кг	Не учитываем	Не учитываем	-2861
Итого слили, кг	160759	156709	153848
Налили в ж. д. цистерны (по весам), кг	154049	154049	154049
Разница показаний по весам и по резервуарному парку, кг	+6710	+2660	-201
Разница показаний, %	+4,4%	+1,7%	-0,13%

О градиенте температуры.

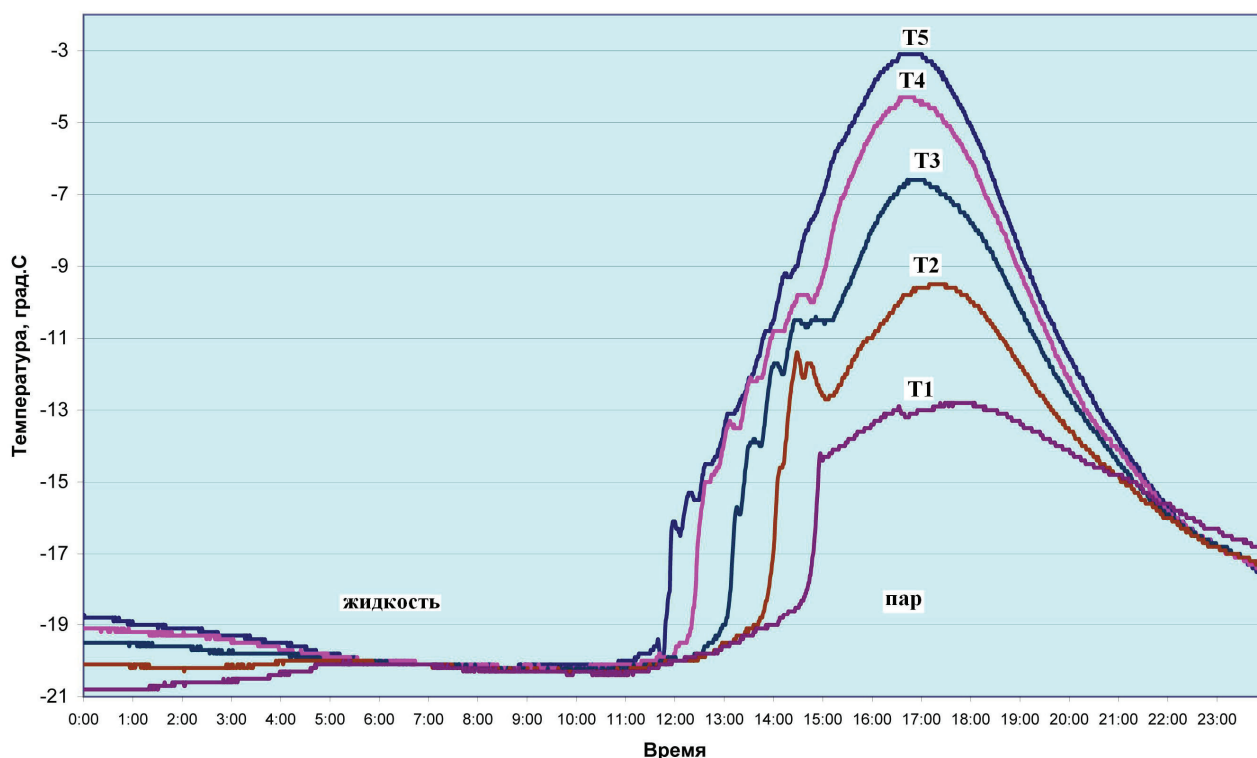


Рис. 12. Тренды температуры в емкости № 9.

На рис. 12 приведены графики изменения температуры в емкости № 9 за сутки.

С 0 часов до 11 часов 40 минут в емкости находился жидкий СУГ, все датчики температуры находились в жидкости. С 15 часов все датчики температуры находились в паре.

Датчик температуры Т1 находится около дна резервуара, датчик Т2 находится на уровне заполнения 20%, датчик Т3 находится на уровне заполнения 40%, датчик Т4 находится на уровне заполнения 60%, датчик Т5 находится на уровне заполнения 80%.

По окончании перекачки СУГ температура в емкости некоторое время поднималась и достигла максимальных значений около 17 часов. При этом температура в нижней части резервуара была -13°C а в верхней части резервуара -3°C . Градиент температуры по высоте резервуара для паров СУГ составил 10°C . Уравнивание температур произошло только в 22 часа, когда прекратилась конденсация паров СУГ.

Не меньший интерес представляет градиент температуры для жидкого СУГ. В 0 часов температура в нижней части резервуара была $-20,8^{\circ}\text{C}$ а в верхней части резервуара $-18,8^{\circ}\text{C}$. Это изменение температуры по высоте резервуара постепенно уменьшалось, к 5 часам утра температуры уравнились. Это связано с тем, что в резервуаре происходила конденсация паров СУГ, при этом верхние слои жидкости нагревались.