



*Общество с ограниченной ответственностью
Научно-производственное предприятие «ГКС»*

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

«REPORTVIZ»

АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Содержание

1	Объект испытаний.....	3
2	Перечень применяемых сокращений и терминов.....	4
3	Алгоритмы вычислений	5
3.1	Вычисление значения плотности продукта при температуре 15 °С и избыточном давлении 0 МПа	5
3.2	Вычисление коэффициента CPL	8
3.3	Вычисление коэффициента β	8
3.4	Вычисление коэффициента χt	8
3.5	Вычисление массового расхода рабочей жидкости через СРМ.....	9
3.6	Вычисление нижнего и верхнего предела массового расхода	9
3.7	Вычисление массы рабочей жидкости, определенную с помощью СРМ.....	10
3.8	Вычисление массового расхода рабочей жидкости через поверяемый СРМ.....	10
3.9	Вычисление градуировочного коэффициента СРМ	11
3.10	Вычисление коэффициента коррекции СРМ	12
3.11	Вычисление СКО результатов измерений в поверяемых точках.....	13
3.12	Вычисление СКО среднего значения результатов измерений	13
3.13	Вычисление границы случайной погрешности СРМ	14
3.14	Вычисление границы относительной погрешности СРМ.....	14
4	Использованные продукты	16

Согласовано									
Взам. инв. №									
Подп. и дата									
Инв. № подл.									

Программное обеспечение «REPORTVIZ»					
Изм.	Кол.уч	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.	Ельчев				08.06.23
Проверил	Краснов				08.06.23
Н. контрол					

Алгоритмы вычислений		
Стадия	Лист	Листов
Р	2	17
 НПП «ГКС»		

1 *Объект испытаний*

Программное обеспечение «ReportViz». Алгоритмы вычислений» предназначен для выполнения вычислений массы нетто и массы балласта нефти и нефтепродукта (далее – продукт), результатов измерений при проведении КМХ и проверок.

В данном документе приведены данные и формулы, используемые в программном обеспечении «ReportViz», версия 1.0.0

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									3
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Программное обеспечение «REPORTVIZ»

2 Перечень применяемых сокращений и терминов

КМХ – контроль метрологических характеристик

ПП – преобразователь плотности

ПУ – поверочная установка

СКО – среднеквадратичное отклонение

СРМ– счетчик скорости потока (расхода) массовый

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									4
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Программное обеспечение «REPORTVIZ»

3 Алгоритмы вычислений

3.1 Вычисление значения плотности продукта при температуре 15 °C и избыточном давлении 0 МПа

Плотность продукта при температуре 15 °C и избыточном давлении, равном нулю, ρ_{15} , кг/м³, вычисляется, согласно Р 50.2.076 – 2010, по значению плотности ρ_{tP} , кг/м³, измеренному преобразователем плотности для температуры $t_{пп}$, °C и избыточного давления $P_{пп}$, МПа:

$$\rho_{tP} = \frac{\rho_{15} \exp \left\{ -\beta_{15} (t-15) [1 + 0,8\beta_{15} (t-15)] \right\}}{1 - \gamma_t P},$$

$$\beta_{15} = \frac{K_0 + K_1 \rho_{15}}{\rho_{15}^2} + K_2$$

$$\gamma_t = 10^{-3} \exp \left(-1,62080 + 0,00021592 \cdot t + \frac{0,87096 \cdot 10^6}{\rho_{15}^2} + \frac{4,2092 \cdot t \cdot 10^3}{\rho_{15}^2} \right)$$

где β_{15} – коэффициент объемного расширения при температуре 15 °C, 1/°C;

K_0 , K_1 , K_2 – коэффициенты, определяемые по таблице 1;

γ_t – коэффициент сжимаемости, 1/МПа, при температуре t , °C.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Программное обеспечение «REPORTVIZ»			5

Таблица 1

Наименование группы		Диапазон плотности при 15 °C, кг/м ³	K0	K1	K2
Нефть		$611,2 \leq \rho_{15} < 1163,8$	613,9723	0,0000	0,0000
Группы нефте- продук- тов	Бензины	$611,2 \leq \rho_{15} < 770,9$	346,4228	0,43884	0,0000
	Топлива, занимающие по плотности промежуточное место между бензинами и керосинами	$770,9 \leq \rho_{15} < 788,0$	2690,744 0	0,00000	- 0,0033762
	Топлива для реактивных двигателей, киро- сины для реактивных двигателей, авиационное реактивное топливо ДЖЕТ А, керосины	$788,0 \leq \rho_{15} < 838,7$	594,5418	0,0000	0,0000
	Дизельные топлива, печные топлива, мазуты	$838,7 \leq \rho_{15} < 1163,9$	186,9696	0,4862	0,0000

Значение плотности ρ_{15} , кг/м³, находят методом последовательных приближений, используя итерационный метод "прямых подстановок", по следующему алгоритму:

а) измеренное значение плотности $\rho_t P$ подставляют в формулы (2) и (3) вместо ρ_{15} и вычисляют в первом приближении значения β_{15} и χ_t , соответственно;

б) измеренное значение плотности $\rho_t P$ и вычисленные в первом приближении значения β_{15} и χ_t , подставляют в формулу (1) и определяют значение ρ_{15} в первом приближении;

в) значение ρ_{15} , вычисленное в первом приближении, подставляют в формулы (2) и (3) и вычисляют во втором приближении значения β_{15} и χ_t , соответственно;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			Программное обеспечение «REPORTVIZ»						
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	

г) измеренное значение плотности ρ_{tP} и вычисленные во втором приближении значения β_{15} и χ_t , подставляют в формулу (1) и вычисляют значение ρ_{15} во втором приближении и так далее.

Расчет плотности ρ_{15} продолжают до тех пор, пока значение ρ_{15} не перестанет изменяться более чем на 0,01 кг/м³. За результат вычисления плотности ρ_{15} принимается значение, полученное в последнем приближении.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
										7
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

3.2 Вычисление коэффициента CPL

Значение коэффициента CPL, учитывающего влияние давления на объем продукта для диапазона плотности продукта (при $t = 150^{\circ}\text{C}$ и $P = 0$ МПа) от 611 до 1164 кг/м³ определяют по формулам

$$CPL = \frac{1}{1 - b \cdot P \cdot 10},$$

$$b = 10^{-4} \cdot \exp\left(-1,62080 + 0,00021592 \cdot t + \frac{0,87096 \cdot 10^6}{\rho_{15}^2} + \frac{4,2092 \cdot 10^3 \cdot t}{\rho_{15}^2}\right),$$

где ρ_{15} – значение плотности продукта при $t = 150^{\circ}\text{C}$ и $P = 0$ МПа, кг/м³;

t – значение температуры продукта, $^{\circ}\text{C}$;

P – значение избыточного давления продукта, МПа;

10 – коэффициент перевода единиц измерения давления МПа в бар.

3.3 Вычисление коэффициента β

β_{15} – коэффициент объемного расширения при температуре 15 $^{\circ}\text{C}$, 1°C , вычисляемый по формуле

$$\beta_{15} = \frac{K_0 + K_1 \rho_{15}}{\rho_{15}^2} + K_2$$

где ρ_{15} – значение плотности продукта при $t = 15^{\circ}\text{C}$ и $P = 0$ МПа, кг/м³;

K_0 , K_1 , K_2 – коэффициенты, определяемые по таблице 1.

3.4 Вычисление коэффициента χ_t

χ_t – коэффициент сжимаемости, 1МПа, при температуре t , $^{\circ}\text{C}$, вычисляемый по формуле

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			Программное обеспечение «REPORTVIZ»						
			8						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

$$\gamma_t = 10^{-3} \exp \left(-1,62080 + 0,00021592 \cdot t + \frac{0,87096 \cdot 10^6}{\rho_{15}^2} + \frac{4,2092 \cdot t \cdot 10^3}{\rho_{15}^2} \right)$$

где ρ_{15} – значение плотности продукта при $t = 15^\circ\text{C}$ и $P = 0$ МПа, кг/м³;

t – значение температуры продукта, $^\circ\text{C}$.

3.5 Вычисление массового расхода рабочей жидкости через СРМ

Массовый расход рабочей жидкости через СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода Q_{ji} , т/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{ji} = \frac{M_{\text{ПУ}ji}}{T_{ji}} \cdot 3600,$$

где $M_{\text{ПУ}ji}$ – масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т;

T_{ji} – время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

3.6 Вычисление нижнего и верхнего предела массового расхода

Нижний и верхний предел рабочего диапазона измерений массового расхода $Q_{\min}$, $Q_{\max}$, т/ч, вычисляют по формулам

$$Q_{\min} = \min(Q_j),$$

$$Q_{\max} = \max(Q_j),$$

где Q_j – массовый расход рабочей жидкости через СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т/ч.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
									9
			Программное обеспечение «REPORTVIZ»						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подп.	Дата				

3.7 Вычисление массы рабочей жидкости, определенную с помощью СРМ

Массу рабочей жидкости, определенную с помощью СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода M_{ji} , т, вычисляют по формуле:

$$M_{ji} = \frac{N_{ji}}{K_{ПМ}},$$

где N_{ji} – количество импульсов от СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, имп;

$K_{ПМ}$ – коэффициент преобразования СРМ, имп/т.

3.8 Вычисление массового расхода рабочей жидкости через поверяемый СРМ

Массовый расход рабочей жидкости через поверяемый СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода Q_{ji} , т/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{ji} = \frac{M_{Эji}}{T_{ji}} \cdot 3600,$$

где $M_{Эji}$ – масса рабочей жидкости, измеренная с помощью ЭСРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т;

T_{ji} – время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, с.

Массовый расход рабочей жидкости через поверяемый СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода Q_j , т/ч, вычисляют по формуле

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ji}}{n_j},$$

где Q_{ji} – массовый расход рабочей жидкости через поверяемый СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, т/ч;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
									10	
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Программное обеспечение «REPORTVIZ»				

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

3.9 Вычисление градуировочного коэффициента СРМ

Градуировочный коэффициент СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода K_M , г/с/мкс вычисляют по формуле:

$$K_M = \frac{\sum_{j=1}^m K_{Mj}}{m},$$

$$K_{Mj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} K_{Mji}}{n_j},$$

$$K_{Mji} = \frac{M_{\text{ПУ}ji}}{M_{ji}} \cdot K_{\text{Муст}},$$

где K_{Mj} – среднее значение градуировочного коэффициента СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;

m – количество точек рабочего диапазона измерений массового расхода;

K_{Mji} – значение градуировочного коэффициента СРМ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

$M_{\text{ПУ}ji}$ – масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, m ;

M_{ji} – масса рабочей жидкости, определенная с помощью СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, m ;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			Программное обеспечение «REPORTVIZ»						
			11						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

$K_{\text{Муст}}$ – градуировочный коэффициент, установленный в СРМ на момент проведения поверки СРМ, г/с/мкс.

3.10 Вычисление коэффициента коррекции СРМ

Коэффициент коррекции СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода MF , вычисляют по формуле

$$MF = \frac{\sum_{j=1}^m MF_j}{m},$$

$$MF_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} MF_{ji}}{n_j},$$

$$MF_{ji} = \frac{M_{\text{ПУ}ji}}{M_{ji}} \cdot MF_{\text{уст}},$$

где MF_j – среднее значение коэффициента коррекции СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

m – количество точек рабочего диапазона измерений массового расхода;

MF_{ji} – значение коэффициента коррекции СРМ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

$M_{\text{ПУ}ji}$ – масса рабочей жидкости, определенная с помощью средств поверки за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г;

M_{ji} – масса рабочей жидкости, определенная с помощью СРМ за время i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
			Программное обеспечение «REPORTVIZ»						
			12						
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата				

$MF_{уст}$ – коэффициент коррекции, установленный в СРМ на момент проведения поверки СРМ.

3.11 Вычисление СКО результатов измерений в поверяемых точках

СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода S_j , %, вычисляют по формуле

$$S_j = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (K_{Mji} - K_{Mj})^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{K_{Mj}} \cdot 100 & \text{при определении } K_M \\ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (MF_{ji} - MF_j)^2}{n_j - 1}} \cdot \frac{1}{MF_j} \cdot 100 & \text{при определении } MF \end{cases},$$

где K_{Mj} – среднее значение градуировочного коэффициента СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;

K_{Mji} – значение градуировочного коэффициента СРМ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, г/с/мкс;

MF_j – среднее значение коэффициента коррекции СРМ в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

MF_{ji} – значение коэффициента коррекции СРМ для i -го измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода;

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

3.12 Вычисление СКО среднего значения результатов измерений

СКО среднего значения результатов измерения в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода S_{0j} , %, вычисляют по формуле

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Программное обеспечение «REPORTVIZ»			13

$$S_{0j} = \frac{S_j}{\sqrt{n_j}},$$

где S_j – СКО результатов измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода, %;

n_j – количество измерений в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

СКО среднего значения результатов измерения в рабочем диапазоне измерений массового расхода S_0 принимают равным значению СКО среднего значения результатов измерения в точке рабочего диапазона измерений массового расхода с максимальным значением границы случайной погрешности ϵ_j .

3.13 Вычисление границы случайной погрешности СРМ

Границу случайной погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода при доверительной вероятности $P=0,95$, %, вычисляют по формулам

$$\epsilon = \max(\epsilon_j),$$

$$\epsilon_j = t_{0,95j} \cdot S_{0j},$$

где ϵ_j – граница случайной погрешности в j -ой точке рабочего диапазона, %;

$t_{0,95j}$ – квантиль распределения Стьюдента для количества измерений n_j в j -ой точке рабочего диапазона измерений массового расхода.

3.14 Вычисление границы относительной погрешности СРМ

Границу относительной погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода δ , %, определяют по формулам

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
									14	
			Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Программное обеспечение «REPORTVIZ»	

$$\delta = \begin{cases} \varepsilon & \text{если } \frac{\Theta}{S_0} < 0,8 \\ K \cdot S_{\Sigma} & \text{если } 0,8 \leq \frac{\Theta}{S_0} \leq 8 \\ \Theta & \text{если } \frac{\Theta}{S_0} > 8 \end{cases}$$

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta}{S_0 + S_{\Theta}},$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_0^2},$$

$$S_{\Theta} = \sqrt{\frac{\Theta_{\Sigma 0}^2 + \Theta_{V 0}^2 + \Theta_t^2 + \Theta_p^2 + \Theta_A^2 + \Theta_{\text{ИБК}}^2 + \Theta_Z^2 + \Theta_{\text{Мт}}^2 + \Theta_{\text{МР}}^2}{3}},$$

где ε – граница случайной погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %;

Θ – граница неисключенной систематической погрешности СРМ в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %;

K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей;

S_{Σ} – суммарное СКО результата измерений, %;

S_{Θ} – СКО суммы неисключенных систематических погрешностей, %;

S_0 – СКО среднего значения результатов измерений в рабочем диапазоне измерений массового расхода, %.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
									15	
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Программное обеспечение «REPORTVIZ»				

4 *Использованные продукты*

Порядок алгоритмических вычислений для поверок/КМХ и расчеты массы нефти и нефтепродуктов проводятся согласно следующим документам:

- «Преобразователи массового расхода. Методика поверки на месте эксплуатации трубопоршневой поверочной установки в комплекте с поточным преобразователем плотности. МИ 3151-2008»;

- «Счётчики-расходомеры массовые. Методика поверки на месте эксплуатации компакт-прувером в комплекте с турбинными преобразователем расхода и поточным преобразователем плотности. МИ 3272-2010»;

- «Плотность нефти и нефтепродуктов. Методы расчета. Р 50.2.076-2010».

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №							Лист	
										16
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Программное обеспечение «REPORTVIZ»				

Лист регистрации изменений

[illegible]

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №

						<i>Программное обеспечение «REPORTVIZ»</i>	<i>Лист</i>
							17
<i>Изм.</i>	<i>Кол.уч.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		