

Материальные потоки, являющиеся сырьем или продуктом какого-либо завода ОАО "Нижнекамскнефтехим", а так же энергетические потоки (перегретый, насыщенный пар и вода) представляют высокую ценность в экономических межзаводских отношениях. Автоматизированная информационно-измерительная система хозяйственного учета позволяет объективно решать спорные вопросы между заводами поставщиками и потребителями, исключая волевые и директивные меры исполнителей. При разработке прикладного программного обеспечения для контроллера, выполняющего расчет расхода и количества жидкостей и газов на основе комплекса международных стандартов ГОСТ 8.568.1-2005-ГОСТ [1] 8.586.5-2005 (для измерения расхода и количества жидкостей и газов), стандарта ГОСТ 30319.(0-2)-96 [2] (для нахождения свойств природного газа) и рекомендация УГМетр ОАО «Нижнекамскнефтехим» «Уравнения определения теплофизических свойств перегретого пара, насыщенного пара и воды» от 22.03.2006 [3] (для нахождения свойств перегретого пара, насыщенного пара и воды) для нахождения показателя адиабаты и динамической вязкости используется простейшая кусочно-линейная интерполяция, как по t (температуре), так и по p (давлению), применение которой можно оправдать незначительным влиянием изменения данных свойств среды (при изменении параметров t (температуры) и p (давления)) на вычисляемый расход. Зависимость ρ (плотности) от p (давления) линейна. Зависимость же ρ (плотности) от t (температуры) при изобарном процессе (табличные данные рассматриваемые в пределах одного значения давления) имеет нелинейный вид. Это видно из табличных данных, а так же следует из уравнения Менделеева-Клайперона. С учетом того, что значения $M = \text{const}$ (молярной массы) и $R = \text{const}$ (универсальной газовой постоянной). Данное свойство напрямую влияет на расчет расхода материального потока, как видно из формулы [1]: (1) где q_m - массовый расход среды, $\pi = 3.14159265$, d_{20} - диаметр отверстия сужающего устройства, K_{su} - коэффициент, учитывающий изменение диаметра отверстия сужающего устройства, вызванное отклонением температуры среды от 20°C , C - коэффициент истечения (для диафрагмы), E - коэффициент скорости входа, K_{sh} - коэффициент шероховатости, ϵ - коэффициент расширения, K_p - поправочный коэффициент (для диафрагм), учитывающий притупление входной кромки диафрагмы, Δp - перепад давления на сужающем устройстве. Кусочно-нелинейная интерполяция плотности от температуры позволяет наиболее точно находить промежуточные значения величины по имеющемуся дискретному набору известных значений. При нелинейной интерполяции зависимость плотности жидкости и газа в расчетах записывается в виде . (2) При линейной интерполяции зависимость плотности жидкости и газа в расчетах записывается в виде . (3) Для определения коэффициентов уравнения необходимо воспользоваться методом наименьших квадратов (МНК). В случае полинома первого порядка $m=1$, т.е. , система

нормальных уравнений примет вид: (4) При $m=2$ имеем: (5) Здесь N -число измерений, σ - экспериментальные данные, $(=1,2,3)$ - параметры уравнений. МНК позволяет найти коэффициенты зависимостей и выбрать наилучшую из них по минимальной сумме отклонений. Определим эмпирические зависимости между температурой и плотностью вещества. За основу исследования примем табличные данные при $R_{изб}=1\text{кгс/см}^2$, полученные путем расчета расхода этилена на эталонном "Расходомере ИСО".

Таблица 1 - Плотность этилена из расчетов расхода на эталонном "Расходомере ИСО"

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Плотность этилена при $R_{изб}=5,099\text{кгс/см}^2$, $\rho, \text{кг/м}^3$
-33,15	7,46
-23,15	7,1
-13,15	6,79

Учитывая число измерений $N=3$, имеем $\begin{matrix} \sigma \\ \sigma \\ \sigma \end{matrix}$; ; ; Получим систему уравнений для определения линейной зависимости плотности от температуры: Решая систему линейных уравнений, найдем, $\begin{matrix} \sigma \\ \sigma \\ \sigma \end{matrix}$. Следовательно, линейная зависимость имеет вид: $\rho = a \cdot t + b$. Вычислим сумму квадратов отклонений: (6) Рассмотрим квадратичную зависимость плотности от температуры (2). Система нормальных уравнений имеет вид $\begin{matrix} \sigma \\ \sigma \\ \sigma \end{matrix}$ Учитывая число измерений $N=3$ и ранее найденные суммы, $\begin{matrix} \sigma \\ \sigma \\ \sigma \end{matrix}$, получим систему уравнений для определения коэффициентов квадратичной зависимости плотности от температуры: Решая систему уравнений, найдем $\begin{matrix} \sigma \\ \sigma \\ \sigma \end{matrix}$. Следовательно, квадратичная зависимость имеет вид: $\rho = a \cdot t^2 + b \cdot t + c$. Вычислим сумму квадратов отклонений: (7) Сравнивая минимальные суммы отклонений расчетных данных (6), (7) имеем, наилучшей эмпирической зависимостью является квадратичная. Ниже представлена таблица, полученная на основе рассчитанных эмпирических зависимостей.

Таблица 2 - Плотность этилена из расчетов расхода на эталонном "Расходомере ИСО" и хозучетных контроллерах, алгоритмы программного обеспечения которых включают в себя линейную и нелинейную интерполяцию

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Плотность этилена при $R_{изб}=5,099\text{кгс/см}^2$, $\rho, \text{кг/м}^3$	Относительная погрешность, %
-33,15	7,46	7,4671
-28,15	7,27	7,2971
-23,15	7,1	7,1271
-18,15	6,94	6,9571
-13,15	6,79	6,7871

Эталонные значения, полученные из "Расходомера ИСО" Значения, полученные при линейной интерполяции Значения, полученные при нелинейной интерполяции

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Плотность этилена при $R_{изб}=5,099\text{кгс/см}^2$, $\rho, \text{кг/м}^3$	Относительная погрешность, %
-33,15	7,46	7,4671
-28,15	7,459835	0,095174
-23,15	7,459835	0,095174
-18,15	7,099885	0,38169
-13,15	6,789935	0,04271

При условии, что все свойства и параметры материального потока (этилена) будут неизменными, определим экономическую сторону вопроса. С учетом того, что массовый расход потока определяется по формуле (1), составим отношение массовых расходов, плотность которых находится по линейной и нелинейной интерполяции при температуре $-28,15^\circ\text{C}$: $\frac{G_{линейная}}{G_{нелинейная}}$, где G - расход этилена, рассчитанный по формуле (1) при линейной (3) и квадратичной зависимости плотности (2), соответственно. Пусть рыночная стоимость этилена составляет 30000 руб./т, а завод потребитель единовременно закупает его в количестве 10000 т, тогда $30000 \cdot 10000 = 300$

млн. руб. (затраты завода-потребителя имеющего расходомер с нелинейной интерполяцией). Затраты завода-потребителя, имеющего расходомер с линейной интерполяцией данных составляет: $30000 * 10000 * 1,0032295 = 300968850$ руб. Следовательно, применение нелинейной интерполяции при разработке прикладного программного обеспечения для контроллера, выполняющего расчет расхода и количества жидкостей и газов, фактически позволяет заводу-потребителю получить экономию в сумме 968850руб или около 97руб./т этилена