

О сопровождении электронными контрольными примерами нормативно-технической документации, регламентирующей методики выполнения сложных расчетов

Омельченко Олег Анатольевич

Научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Касперович Александр Геннадьевич

Ведущий инженер ИТЦ ООО «Газпром переработка»

Проблема и постановка задачи

Существует область НТД, регламентирующих сложные методики выполнения расчетов (МВР).

ГОСТ 34807-2021 «Газ природный. Методы расчета температуры точки росы по воде и массовой концентрации водяных паров»,

ГОСТ Р «Газ природный. Методы расчета физических свойств. Вычисление коэффициента сжимаемости в области низких температур»

ГОСТ «Газ природный. Методы определения объемной теплоты сгорания» и другие.



Проблема их применения –

разработчики не предоставляют средства выполнения расчетов (СВР), а создание их пользователями практически невозможно.



Возможности и пути решения

- создание СВР необходимо разработчикам НТД для проверки корректности МВР
- СВР можно создавать в формате электронных контрольных примеров (ЭКП) к НТД
- ЭКП можно создавать в доступной (например, офисной) среде, не разрабатывая ПО
- созданные ЭКП передавать пользователям в комплекте с НТД
- передача ЭКП пользователям целесообразна на стадии согласования НТД



Алгоритм формирования КП и ЭКП

Методика выполнения расчетов, МВР

Сложная, трудоемкая работа

Создание и оформление полноценного ПО, реализующее МВР

Подготовка контрольных примеров (КП), отражающих методы расчета в НТД

КП описаны в НТД, ориентированы на самостоятельную разработку пользователем адекватных СВР, соответствующих метрологическим показателям. **ПОЧТИ ВСЕГДА!**

КП дополнительно реализованы в виде вычислителей (ЭКП), в соответствии с описанием в НТД и подтверждают заявленные метрологические показатели. **РЕДКО!**

Более эффективно

Сопровождение всех НТД

И передача пользователям

Практика контрольных примеров - вычислителей



ГОСТ 31369-2021 (ISO 6976:2016)

ГАЗ ПРИРОДНЫЙ Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава



ГОСТ 34100.3.2-2017/ISO/IEC Guide 98-3/Suppl 2:2011

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ Часть 3

Руководство по выражению неопределенности измерения

В справочном приложении D описаны не только КП методики вычисления физических показателей, но и что наиболее важно - в качестве необязательного приложения к стандарту предлагается загрузить крупноформатную таблицу Excel[®] ISO6976examples.xlsx, **по которой можно проверить примеры более детально**, ссылка: <http://standards.iso.org/iso/6976>.

Практика контрольных примеров - вычислителей

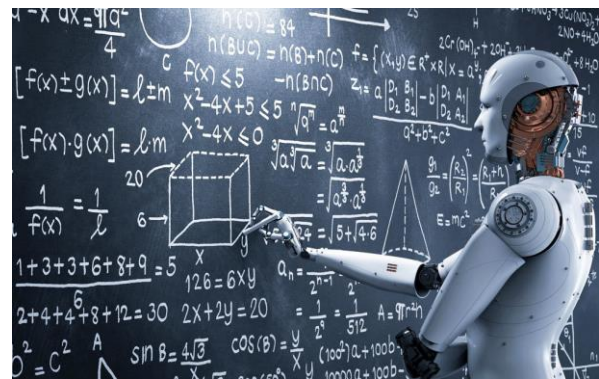
1. Отказ от ответственности:

Несмотря на то, что эта электронная таблица предоставляется добросовестно, нет подразумеваемой гарантии ее использования в контрактных, коммерческих или других приложениях, а также нет гарантии, что она не содержит ошибок. Однако он был протестирован несколькими экспертами и не содержит известных ошибок на момент публикации ISO 6976.

2. Формулы содержат только такие конструкции, **которые содержит в себе стандартный пакет работы с Excel**. То есть в них **НЕТ** пользовательских функций, и вообще нет никаких расчетных и управляющих конструкций в виде макросов VBA, широко применяемых в инженерной практике работы с электронными таблицами MS Excel.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	M	s	(H ₀) _G	z	(H ₀) _N	(H _m) _G	(H _m) _N	(H _v) _G	(H _v) _N	D	G	W _G	
2	18.03492	0.054293	938.64272	0.997052265	846.1710306	52.04583527	46.9184677	42.0013879	37.8635629	0.807008	0.624114	53.16573851	47.9280
3	0.013735	0.000474	0.6311007	5.14237E-05	0.579943085	0.023440359	0.0215462	0.02848735	0.02617134	0.000619	0.000479	0.022825055	0.02128

Предлагаемые способы реализации ЭКП-вычислителей



Любая среда создания и выполнения кодов программ, широко распространенная, и главное - в открытом доступе

Среда электронных таблиц Microsoft Office и подобные ей среды с возможностью кода на скриптовом языке программирования

Среда программирования Python. Также широко известная в инженерных кругах, имеющая огромное количество библиотек научной и инженерной направленности, причем в открытом доступе. Является чуть ли не «стандартом» встроенных языков современных ПО для моделирования в нефтегазовом секторе: tNavigator (RFD), ПО Schlumberger и т.д.



Предлагаемые способы реализации ЭКП-вычислителей

СТО Газпром 5.63-2016 «Методика расчета ФХС нестабильных ЖУВ»

Таблица Ж.1 - Примеры результатов расчета физико-химических свойств по компонентно-фракционным составам нестабильных жидких углеводородов

Состав	Тип сырья	Параметры		Расчетные физико-химические свойства			
		Температура, °С	Давление, МПа	Плотность, кг/м ³		Давление насыщения, МПа	Динамическая вязкость, мПа·с
				Метод А	Метод Б		
КГН валанжинских залежей	Валанжинские залежи	70,0	19,6	544,5	570,3	4,86	0,150
		50,0	15,7	569,6	584,4	4,19	0,181
		30,0	11,8	592,1	599,3	3,55	0,219
		10,0	7,8	612,1	615,0	2,93	0,266
		-10,0	4,9	631,0	632,7	2,36	0,325

Состав (Приложение А)	Тип сырья (Приложение В)	Параметры		Расчетные физико-химические	
		Температура, °С	Давление, кгс/см ² абс	Плотность, кг/м ³	
				Метод "А"	Метод "Б"
КГН валанжин	Валанжин	70.0	200.0	544.5	570.3
		50.0	160.0	569.6	584.4
		30.0	120.0	592.1	599.3
		10.0	80.0	612.1	615.0
		-10.0	50.0	631.0	632.7
КГН Ачимовка	Ачимовка	70.0	200.0	650.6	665.8
		50.0	160.0	669.1	679.0
		30.0	120.0	686.7	692.8
		10.0	80.0	703.1	707.1
		-10.0	50.0	719.6	723.0
		-30.0	30.0	736.0	740.2

Таблица Ж.2 - Примеры результатов расчета объемных коэффициентов и перерасчета плотности

Характеристики	Базовые параметры	Смещенные параметры	Рабочие параметры	Измененные параметры
Давление, МПа	3,2	4,3	3,2	2,1
Температура, °С	17,0	21,0	17,0	-11,0
Плотность, кг/м ³ :				
- базовая	684,3	-	-	-
- при смещенном давлении	-	685,8	-	-
- при смещенной температуре	-	679,9	-	-
Коэффициент объемного расширения β_t	-	-0,001605	-	-
Коэффициент сжимаемости β_p	-	0,000209	-	-
Плотность, кг/м ³ :				
- измеренная	-	-	684,3	-
- пересчитанная	-	-	-	713,3

	Базовые	Смещенные	Смещенные	Измеренные	Пересчет
Давление	33.0	44.0	33.0	33.0	21.0
Температура	17.0	17.0	21.0	17.0	-11.0
Плотность	684.3	685.8	679.9	684.3	713.3
БеттаТ			-0.001605		
БеттаР		0.000209			

=ФХС("ROLM";КФС!\$D\$8:\$D\$62;Ачим
!\$B\$4:\$L\$58;\$C16;\$D16)

=Beta_P(\$E\$19;\$E\$20;\$E\$17;\$E\$18)

```
Public Declare Function ФХС Lib "D:\LibXLS\PhChProp.dll" Alias "f_Prop" _
    (ByVal Код_Св As String, _
    МассДоля_i As Variant, _
    Свойства As Variant, _
    ByVal Температура_С As Double, _
    ByVal Давление_ата As Double, _
    Optional ByVal Алгоритм As Long = 0, _
    Optional ByVal Точность As Double = 0) As Double
```

```
'
' Расчет объемных коэффициентов ...
'
'Public Function Ro(M, V As Double) As Double
'Ro = M / V
'End Function
' k_P - коэффициент сжимаемости (барический коэффициент изменения плотности), 1/МПа.
Public Function PBetta_P(Ro1, Ro2, P_ata1, P_ata2 As Double) As Double
    del_Ro = Ro2 - Ro1
    del_P_ata = P_ata2 - P_ata1
    PBetta_P = (del_Ro / (Ro2 * del_P_ata))
End Function
'
' k_t - коэффициент объемного расширения (термический коэффициент изменения плотности), 1/°C;
' Ro1 - Ro_0 - базовое значение плотности, кг/м3; Ro2 - Ro_(P_0 t_sh ) - значение плотности при базово
' t_(sh ) - значение смещенной температуры, °C; t_0 - базовое значение температуры, °C.
'
Public Function PBetta_T(Ro1, Ro2, T_k1, T_k2 As Double) As Double
    del_Ro = Ro2 - Ro1
    del_T_k = T_k2 - T_k1
    PBetta_T = (del_Ro / (Ro1 * del_T_k))
End Function
```


Реализация ЭКП в среде электронных таблиц MS Excel

Вычислитель базируется на базе пользовательских функций и процедур, реализованных на встроенном скриптовом языке VBA, позволяющим кодировать сложные структуры и процессы, полноценный язык программирования. При необходимости, для быстроты вычислений и гарантии целостности кода – вызов подпрограмм из DLL

Существует возможность вариативности оснащения пользовательских подпрограмм для ЭКП в виде:

- автономных модулей VBA, то есть непосредственно в книгах, реализующих ЭКП;
- использование надстроек Excel, специальных файлов, содержащих код VBA и при установке в каталог пользователя XLSTART, способных автоматически подгружаться при запуске Excel

Требования к создаваемому ПО



Необходимые требования фигурируют в одном из разрабатываемом НТД ГОСТ Р «Газ природный. Методы расчета физических свойств. Вычисление коэффициента сжимаемости в области низких температур». Данный НТД является также одним из показательных кандидатов на создание ЭКП.

Регулирует требования к ПО ГОСТ Р 8.654-2015. Основные из них:

1. Должно содержать средства защиты, обнаружения и/или устранения сбоев (дефектов), должно быть защищено от случайных (непреднамеренных) изменений, а также от не-санкционированной модификации, загрузки или считывания данных.
2. При разделении ПО, метрологически значимая часть ПО не должна поддаваться влия-нию метрологически незначимой части.
3. Относительная погрешность вычислений, обусловленная программной реализацией, не должна превышать $\pm 0,02\%$.

- 1. НТД , регламентирующие сложные МВР, нуждаются в сопровождении СВР, в качестве которых предлагается создание ЭКП в открытых и/или широко доступных средах программирования и предоставление их пользователям в комплексе с НТД на этапе его разработки.**
- 2. ЭКП могут тиражироваться пользователями для выполнения собственных расчетов в рамках внедрения НТД, а также использоваться для всесторонней проверки и отработки МВР перед созданием полноценного ПО при необходимости**
- 3. Экономический эффект создания и предоставления ЭКП пользователям основывается на эффективном использовании затрат на разработку НТД по МВР в результате его полноценного внедрения, практически невозможного без сопровождения СВР**
- 4. Для практической апробации этих решений предлагаем выполнить доработку, оформление и рассылку ЭКП к СТО Газпром 5.63-2016 в рамках планируемого развития данного НТД, и в дальнейшем провести опрос пользователей о результатах практического применения ЭКП**
- 5. В случае положительных результатов внедрения ЭКП к СТО Газпром 5.63-2016 ходатайствовать перед ПАО «Газпром» о заключении договора на разработку технических требований к созданию ЭКП, сопровождающих НТД по МВР, и последующего включения в ТЗ на разработку таких НТД этапа создания ЭКП**

Нельзя заниматься бизнесом без науки и наукой
без бизнеса!

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

