

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2019 Issue: 10 Volume: 78

Published: 08.10.2019 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Ismatulla Khujaev

Tashkent University of Information Technologies

Leading researcher,

Scientific and innovation center of Information and communication technologies

Aybek Arifjanov

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers

Head of department

Sevara Khujaeva

Tashkent University of Information Technologies

Master's student

REFINED FORMULAS FOR CHANGE OF TEMPERATURE AND PRESSURE OF GAS ALONG PATH IN THE DOWNLOADING WELL

Abstract: With the account of the linear change in soil temperature along the depth of the well and force of gravity, the formula of V.L. Shukhov is generalized for the route temperature change of the gas transported through the pipeline. Using a linear approximation of this formula, a refined Adamov formula for calculating the pressure in the injection well is proposed.

Key words: pipeline gas transportation, temperature gradient of the earth, heat exchange with the environment, Shukhov's formula, pressure drop, Adamov's formula.

Language: Russian

Citation: Khujaev, I., Arifjanov, A., & Khujaeva, S. (2019). Refined formulas for change of temperature and pressure of gas along path in the downloading well. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (78), 25-31.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-10-78-4> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.10.78.4>

Scopus ASCC: 2604.

УТОЧНЕННЫЕ ФОРМУЛЫ ПУТЕВОГО ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В ЗАКАЧИВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЕ

Аннотация: С учетом линейного изменения температуры грунта по глубине скважины и силы гравитации обобщена формула В.Л. Шухова для путевого изменения температуры транспортируемого по трубопроводу газа. С использованием линейной аппроксимации данной формулы предложена уточненная формула Адамова для расчета давления в закачивающей скважине.

Ключевые слова: трубопроводный транспорт газа, температурный градиент земли, теплообмен с окружающей средой, формула Шухова, перепад давления, формула Адамова.

Введение

Тепло- и массообменные процессы, описываемые законами механики, физики и химии, обеспечивают существования биологических и социальных объектов. А потребности последних объектов отличаются разнообразием, включая от калории еды до

УДК 622.69+536(075)

солнечной и атомной энергии. Т.е. спектр задач тепло- и массообменных процессов достаточно широкий и изучение особенностей этих процессов способствует к улучшению энергообеспеченности различных отраслей производства и населения.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Большие перепады температуры отрицательно влияют на работу трубопроводов. В связи с этим трубопроводы по возможности прокладываются под землей, т.к. интервалы суточного и годового изменения температуры в грунте намного меньше чем в атмосфере.

Известно, что центр земли характеризуется высокой температурой, т.к. земля является гасящей звездой. Это тепло передается к приземной атмосфере, количество которого не 1000 раз меньше, чем земля получает от солнца. В разных частях поверхности земли градиент температуры ее имеет разное значение. Для региона Центральной Азии этот градиент составляет 0,3-0,4°C/м. Но такой градиент устанавливается после определенной глубины. Согласно источникам, верхний слой грунта (0,3-2 м) подвергается суточному изменению температуры. Годовое изменение может достигать от 2 м глубины до 10 м. Далее по направлению радиуса земли устанавливается практически линейное увеличение температуры согласно температурному градиенту региона [1]. Углубление теплиц или помещений для животных в холодном климате обусловлено этим фактором.

Использование почвы в качестве теплоотводящего объекта существовало в Иране, Китае, где летом ожидается высокая температура. В Марракеше начали использовать теплообменники земля-воздух – подземные воздушные туннели (ЕАНХ) [2]. ЕАНХ состоит из трех параллельных ПВХ-труб длиной 72 м каждая и внутреннего диаметра 15 см, погребенных на глубине 2,3-3,2 м. Каждая труба оснащена вентилятором, которые нагнетает воздух в дом. Исследованы изменение температуры и влажности вокруг труб с использованием программного обеспечения TRNSYS (тип 460) в течении 38 суток. Установилась среднесуточная температура 22 °C на выходе ЕАНХ. Максимальные температуры составило 19,8°C к 19-и часам. Устройства работает 45, 90 ваттными вентиляторами. Достигается значительное сокращение энергозатрат.

В работе [3] обсуждается эффективность системы подземного теплообменника на основе модели стационарного состояния системы с учетом длины трубы, температуры грунта, входной температуры воздуха и температуры окружающей среды. Зимой система позволяет увеличить температуру на 0.2-11.2°C в регионе Йезд и 0.1-17.2°C Хамадане зимой, и уменьшить температуру на 1.3-11.4°C и 5.7-11.1°C летом. В условиях Йезда система в среднем может работать 94 сутки, а в Хамадане 225 сутки в году. Этим достигается сокращение объема энергопотребления на 24.5-47.9%.

В работе [4] проверены термическое, механическое и морфологические характеристики

трех коммерчески доступных полимерных композиций с покрытием с высокой теплопроводностью (20-32 Вт/м К) в целях проверки пригодности этих материалов для использования в электронных оборудовании. Наполнители состоят из углерода в двух композитах в виде волокон с диаметром 10 мкм, длиной 120-350 мкм и в третьем композите – заполненном углеродом. Материалы имеют достаточный запас прочности на растягивание, изгибе и ударе по модули упругости. Полимерный состав РА66 показал равные с алюминием показатели. В целом, материалы показали соответствующие требованиям параметров по теплопередаче.

В работе [5] представлены результаты исследования работы циклонного сепаратора, используемого на комплексной установке по производству цемента. Целью исследования является достижение максимальной сепарации при минимальной температуре воздуха на выходе из циклона. Подаются две смеси с разной температурой – 850°C и 600°C. Авторами разработаны установка с сеткой, физическая и математическая модели с учетом турбулентности потока. Определены угол конфузора и длина вихревой установки, а потеря давления – по входным и выходным показателям.

В работе [6] численным моделированием изучается тепловое состояние крупных торговых объектов пищевой продукции. Методология моделирования и результаты исследований, представленные в этой статье, полезны для инженеров по энергетическому моделированию с использованием динамических имитационных моделей для проектирования и/или оценки энергетических характеристик крупных розничных магазинов продуктов питания. Методология может быть использована при проектировании новых объектов или при оценке эффективности крупномасштабных проектов модернизации. Это также представляет практический интерес для менеджеров по энергетике и объектам в крупных организациях розничной торговли продуктами питания, поскольку это поможет понять их энергоэффективности.

Практика показывает, что с увеличением размера исследуемого объекта и потоков массы и тепла увеличивается доля применения численных методов решения задач.

Тепло- и массообмен между турбулентным приземным пограничным слоем и водой, выброса антропогенных и природных газов в атмосферу изучены в работе [7]. Целью этой работы является определение потоков газа из воздуха в море или наоборот. Если известны флуктуации поверхностно-нормальной скорости w' и концентрации газа c' , то можно определить

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

турбулентный вклад в потоке газа. Однако нет основополагающего фундаментального прямого подхода в общем случае, когда нельзя легко измерить w' и c' . Представлен новый подход, позволяющий выявить ключевые аспекты околоповерхностных турбулентного теплообмена из измерений, которые могут быть выполнены инфракрасной (ИК) камерой. Получено уравнение с входными данными, которые представляют собой температуру поверхности и тепловой поток, а также разработан метод решения для поверхностно-нормального напряжения, испытываемого во времени пограничными слоями на границе раздела. Поскольку температурные и концентрационные пограничные слои испытывают одни и те же движения приповерхностной жидкости, решение для поверхностно-нормальной деформации определяет поток газа или скорость переноса газа. Примеры иллюстрируют подход в случаях полного обновления поверхности, частичного восстановления поверхности и инсоляции. Рассмотрены перспективы использования подхода в течениях, характеризующихся срезанными границами или быстрой деформацией пограничного слоя.

В работе [8] проведен всесторонний анализ объектов выработки и использования тепловой энергии в городе Токио и его пригороде. Обсуждаются вопросы экономии энергии в процессах конверсии и транспортировки тепла, которые позволяют сократить объемы выброса углекислого газа – продуктов сгорания. Выявлено, что целесообразно перейти к передаче пара, чем выработать электроэнергию. При этом предполагается сократить потери энергии при сжигании трубопроводной транспортировке теплоносителя. Сокращение объема потерь энергии при сжигании топлива, который составляет 45,2%, способствует покрытия 13,8% общей потребности энергии, экономить около 600 млн долларов США и уменьшить объем выброса углекислого газа на 2200 тыс. тонн в году. Для этого предлагается позитивная корректировка трубопроводной сети в зависимости от расположения и мощностей объектов выработки и пользователей тепла. Данная мера способствует симбиозу решений экономических, в том числе по землепользованию, и экологических проблем градостроительства.

В статье [9] анализируется тепловой баланс территорий, расположенных вблизи рек и водоемов, место обитания рыб, сельхозугодий и пастбищ. Чтобы увеличить продуктивность рыбного хозяйства, берега целенаправленно озеленяются. Это приводит к уменьшению температуры воды и к возможной потере растительного покрова, что обосновывается анализом многолетних метеоданных по

пастбищем, неосвоенным участкам и коммерческих плантаций хвойных деревьев. Показали, что для отдельных участков солнечная радиация больше в 4-х и 6-х кратном размере, притом в спектре коротковолновых радиаций. А для растительности хороши длинноволновые и латентные потоки солнечных лучей.

Представленный выше обзор показывает обширную область применения тепло- и массообменных процессов и необходимость проведения исследований в этих областях. В трубопроводном транспорте газов температурный фактор имеет особое место [10]. По содержанию результатов данная статья близка к практике и обновляют результатов работ [11,12].

Ниже предлагаются варианты аналитического решения задач по изменению температуры и давления газа по глубине закачивающей скважины, которые обобщают известные расчетные формулы Шухова и Адамова [11,12].

Задача и решение

Полагается, что температура грунта T_C по глубине скважины ниже чем нейтрального слоя меняется линейным образом [11]:

$$T_C(x) = T_H + x\Gamma, \quad (1)$$

где Γ – температурный градиент грунта ($K\ m^{-1}$); x – глубина (m); $T_H = T_{CH} - l_H\Gamma$; T_{CH} – значения температуры грунта на поверхности земли и на нейтральном слое; l_H – глубина залегания нейтрального слоя.

В качестве силовых факторов рассматриваются силы давления, гравитации и трения

$$\frac{dp}{dx} - g\rho + \rho \frac{\lambda w^2}{2D} = 0; \quad (2)$$

в качестве энергетических факторов – изменение внутренней энергии газа, теплообмен с окружающей средой в интегрированной форме и потенциальная энергия газа, которая связана силой гравитации

$$\frac{dT}{dx} + a'(T - T_C) = \frac{g}{c_p}. \quad (3)$$

Здесь $p(x)$, $T(x)$ – гидростатическое давление и температура газа в сечении x ; λ – коэффициент сопротивления трения, w – среднерасходная скорость газа в сечении x , $a' = k\pi D / (M c_p)$ – параметр теплопередачи газа в окружающую среду; k – коэффициент теплоотдачи; D – диаметр трубы; g – ускорение силы тяжести; c_p – барическая теплоемкость газа.

Система из уравнений (2) и (3) замыкается уравнениями сохранения массы в виде постоянства массового расхода:

$$M = \rho w F = const \quad (4)$$

и состояния реального газа с учетом сжимаемости газа Z и его приведенная газовая постоянная R :

Impact Factor:

ISRA (India)	= 4.971	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	РИИЦ (Russia)	= 0.126	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.716	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 5.667	OAJI (USA)	= 0.350

$$P = Z\rho RT. \quad (5)$$

Принимается, что показатели λ , D , Z , R , c_p , $F = \pi D^2/4$ и a' имеют постоянные значения.

Задача ставится на определение распределения значений давления p и температуры T газа по глубине скважины имея виду измеренные значения давления p_y и температуры T_y газа на устье ($x = 0$) закачивающей скважины.

Сначала решается уравнение (3) с учетом переменности температуры грунта по глубине x согласно (1):

$$\frac{dT}{dx} + a'(T - x\Gamma - T_H) - \frac{g}{c_p} = 0.$$

С учетом условия $T(x_0) = T_0$ уравнение имеет решение

$$T(x) = T_0 + (x - x_0)\Gamma + (T_0 - T_y - \frac{g}{a'c_p} - x_0\Gamma + \frac{T_y}{a'}) (e^{-a'(x-x_0)} - 1). \quad (6)$$

Из решения (6) можно получить при $x_0 = 0$ и $T(0) = T_y$ другие решения задачи: при игнорировании силы гравитации ($g \rightarrow 0$); при постоянной температуре грунта ($T_c = const$) и при одновременном выполнении этих условий. В последнем случае получается классическая формула В.Л. Шухова [11]. В связи с этим формула (6) является обобщением формулы Шухова для закачивающей скважины.

Чтобы изучить характер изменения температуры газа по глубине скважины, проводили вычислительный эксперимент при постоянных $k_c = 1,75 \text{ Вт м}^{-1} \text{ К}^{-1}$, $c_p = 2890 \text{ Дж кг}^{-1} \text{ К}^{-1}$, $D = 203 \text{ мм}$, $k = 1,5 \text{ мм}$, $\Gamma = 1/33 \text{ К м}^{-1}$, $T_H = 288,15 \text{ К}$, $R = 285 \text{ Дж м}^{-1} \text{ К}^{-1}$. Проводили две серии расчетов по четырем перечисленным вариантам решения задачи.

Серия расчетов, которые проводили при $T_y = 323,15 \text{ К}$ и $M = 0,5, 0,75, \dots, 2,5 \text{ кг/с}$, показали, что при учете всех энергетических факторов (а также при игнорировании силы гравитации) изменение температуры газа по глубине скважины немонотонное: сначала температура газа убывает и далее возрастает. Наименьшие значения температуры газа достигались при значениях M в первом варианте на глубинах 750...400 м, а во втором – 850...1050 м. На глубине 5000 м температура газа составляла 406,3, 394,1, 385,2, ..., 362,1 К, т.е. при больших расходах газа температура его более инертна, чем при малых расходах. Этот факт отражается и в минимальных значениях температуры газа при соответствующих значениях M : 315,2, 317,9, 319,7, ..., 322,5, 322,7 К.

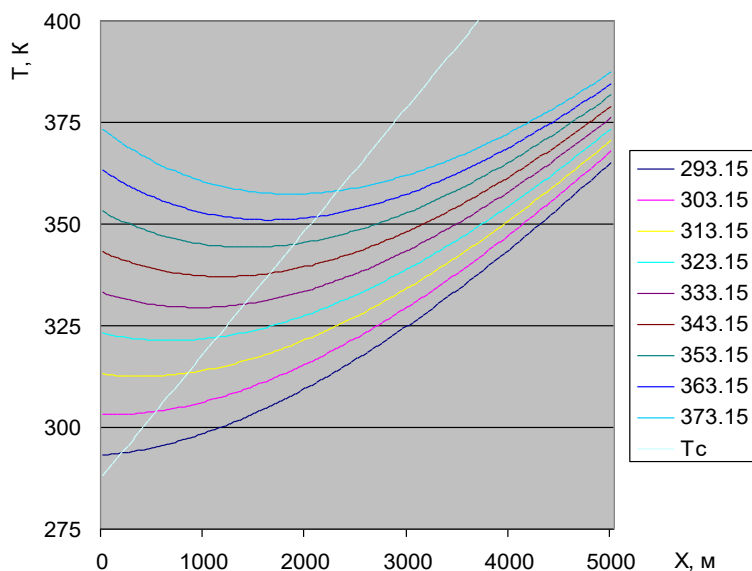


Рис. 1. Изменение температуры газа по глубине скважины при различных значениях температуры закачиваемого газа по формуле (6) при $M = 1,5 \text{ кг/с}$

На рис. 1 представлены результаты расчета по формуле (6).

Вторая серия расчетов проводили при фиксированном значении массового расхода газа ($M = 1,5 \text{ кг/с}$) и варьировании температуры

закачиваемого газа $T_y = 293,15, 303,15, \dots, 373,15 \text{ К}$.

При $T_y = 293,15 \text{ К}$ имело место монотонное возрастание температуры газа, а в остальных значениях входной температуры имело место

Impact Factor:

ISRA (India)	= 4.971	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	ПИИЦ (Russia)	= 0.126	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.716	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 5.667	OAJI (USA)	= 0.350

сначала убывание температуры, а потом ее возрастание. Минимумы температуры при учете всех энергетических факторов достигались на глубине 0, 75, 400, 650, ... 1850 м. С увеличением T_y разность $T_y - T_{min}$ увеличивается.

Во втором варианте также наблюдали аналогичную закономерность, но точки минимальной температуры газа находились более глубоко: 175, 475, 1000, ... 2100 м.

Переходим к решению уравнения (2).

Так как использование формулы (6) приводит к решению (2), в виде бесконечных рядов по степеням x , то целесообразно формулу (6) заменить линейной функцией. В простом варианте подобной функцией может служить уравнение прямой, которая проходит через точки $(0; T_0)$ и $(L; T_y)$:

$$T(x) = T_0 + \frac{T_y - T_0}{L} x = \alpha x + \beta. \quad (7)$$

Здесь L – глубина скважины, $T_y = T(L)$ – значение температуры газа на забое, рассчитанное по формуле (6).

Используя (7), а также исключив из уравнения движения (2) переменных ρ и w , согласно уравнениям сохранения массы (4) и состояния реального газа (5), получим:

$$\frac{dp}{dx} - \frac{g}{ZR} \frac{p}{\alpha x + \beta} + \frac{\lambda ZRM^2}{2DF^2} \frac{(\alpha x + \beta)}{p} = 0.$$

Решение данного уравнения с учетом значения давления на устье скважины, p_y имеет вид

$$p(x) = \sqrt{\left(p_y^2 + \frac{\Lambda}{2-G} \bar{\beta}^2\right) \left(\frac{x+\bar{\beta}}{\bar{\beta}}\right)^G - \frac{\Lambda}{2-G} (x+\bar{\beta})^2} \quad (8)$$

где $G = \frac{2g}{ZR\alpha}$, $\Lambda = \frac{\lambda ZRM^2 \alpha}{DF^2}$, $\bar{\beta} = \beta/\alpha$ – постоянные.

Для сравнения представим решение задачи для изотермического случая

$$\frac{p^2(x) - A_u/G_u}{p_y^2 - A_u/G_u} = e^{G_u x}, \quad (9)$$

где $A_u = \frac{\lambda ZRTM^2}{DF^2}$, $G_u = \frac{2g}{ZRT}$.

Формула (8) является уточнением формулы Адамова [11] для закачивающей скважины, так как дополнительно учитывает силу тяжести. Она уместна для начальной стадии закачки, пока температура грунта не подстраивалась под температуру закачиваемого газа. С истечением времени температура близлежащего к скважине грунта терпит изменение и в этом случае решение задачи необходимо построить в нестационарной осесимметричной постановке.

С использованием формул (8) и (9) проводили расчеты по изменению давления газа при $Z = 0.94$, $\rho/\rho_{возд} = 0.63$, $\lambda = 0.11(k/D)^{0.25}$. Первые две серии расчетов проводились при $p_y = 4$ МПа и с теми показателями исходных, которые использовались при расчетах температуры газа. Третья серия расчетов проводилась при значениях давления на устье скважины $p_y = 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6$ МПа, температура газа на входе $T_y = 323.15K$, массовый расход $M = 1.5$ кг/с.

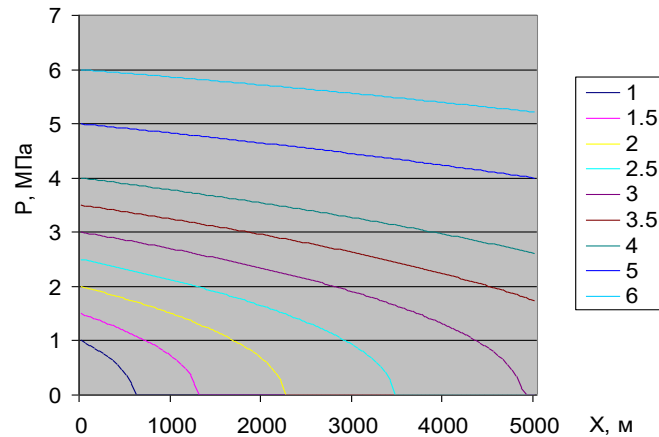


Рис. 2. Изменение давления газа по глубине скважины при различных значениях давления закачиваемого газа на устье скважины. $M=1.5$ кг/с, $T_h=323.15K$.

На рис. 2 представлены распределения давления по глубине скважины при различных значениях давления на устье скважины, $T_y = 323.15K$ и $M = 1.5$ кг/с по формуле (8).

Характер кривых давления повторяет то, что имело место в горизонтальных газопроводах: при

большем значении входного давления падение его будет медленным. В изотермическом режиме также потеря давления оказалась меньше, чем при переменной температуре.

Получены подобные же, но с возрастающим значением давления по глубине скважины,

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

результаты в изотермических и неизотермических режимах. Чтобы объяснить причины разного характера изменения давления, обращаемся к уравнению движения газа и представим его в виде

$$p \frac{dp}{dx} = \frac{g}{ZRT} p^2 - \frac{\lambda ZRT M^2}{2DF^2}. \quad (10)$$

При $p = p_{кр}$, где $p_{кр} = \frac{ZRTM}{F} \sqrt{\frac{\lambda}{2gD}}$, не зависимо от переменности или постоянства температуры, в данной точке имеет место условие $dp/dx = 0$. Соответственно, при $p > p_{кр}$ наблюдается возрастание давления газа вниз по потоку ($dp/dx > 0$), при $p < p_{кр}$ - убывание давления. Заменяв в (10) g на $g \sin \alpha$, где α угол уклона трассы газопровода от горизонта, можно получить аналогичные условия возрастания, постоянства и убывания давления по наклонному газопроводу.

Подобный факт для движения несжимаемой среды (на примере нефти) ранее рассмотрен в [12] в связи с обсуждением режима течения после «перевальной точки». Значит, для сжимаемой среды также имеет место «перевальная точка», после которой наступает зона возрастания давления и надобность на нагнетатель в данном участке отпадает.

Численные расчеты, проведенные при $p < p_{кр}$ с учетом всех силовых и энергетических факторов, показали, что резкое падение температуры газа имеет место при приближении значения давления к нулю. При этом весь

энергетический ресурс газа тратится на увеличение скорости потока вниз по потоку. Данный факт противоположен для случая закачки газа в газохранилище.

Заключение

Подведем итоги по предоставленному материалу.

При игнорировании эффекта Джоуля-Томсона и изменения кинетической энергии газа получено обобщение формулы Шухова, учитывающее линейное возрастание температуры окружающей среды и действие силы тяжести по направлению движения закачиваемого в пласт газа.

На основе полученной формулы изучены закономерности изменения температуры газа в закачивающей скважине.

Исходя из плавного изменения давления и температуры при больших значениях давления закачиваемого газа и игнорировании силы инерции газа предложено обобщение формулы Адамова для закачивающей скважины.

При вычислительном эксперименте по изучению поведения температуры и давления получены новые закономерности изменения давления по закачивающей скважине.

По аналогии с «перевальной точкой» выделено условие, при выполнении которого можно осуществить закачку газа в газохранилище с воздействием вниз по скважине значения давления.

References:

1. Matveev, L.T. (1984). *Kurs obshhej meteorologii. Fizika atmosfery* (2-e izd.). (p.751). Leningrad: Gidrometeoizdat.
2. Mohamed, K., Brahim, B., Karim, L., Hassan, H., Pierri, H., & Amin, B. (2015). *Experimental and numerical study of an earth-to-air heat exchanger for buildings air refreshment in Marrakech*. Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India, Dec. 7-9, 2015. pp.2230-2236.
3. Fazlikhani, F., Goudarzi, H., & Solgi, E. (2017). Numerical analysis of the efficiency of earth to air heat exchange systems in cold and hot-arid climates. *Energy conversion and management*, №5, T: 148, pp. 78-89.
4. Rodger, P., Evelov, V., Diana, A., Darawsheh, I., & Almaskari, F. (2017). Mechanical and Heat Transfer Performance Investigation of High Thermal Conductivity, Commercially Available Polymer Composite Materials for Heat Exchange in Electronic Systems. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 2017, Volume 9, Issue 3. DOI: [10.1115/1.4035942](https://doi.org/10.1115/1.4035942).
5. Mariani, F., Risi, F., & Grimaldi, C.N. (2017) Separation efficiency and heat exchange optimization in a cyclone. *Separation and purification technology*, T.179, pp. 393-402.
6. Parker, J., et al. (2017). Accounting for refrigeration heat exchange in energy performance simulations of large food retail buildings. *Building Services Engineering*

Impact Factor:	ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHHI (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

- Research & Technology, Volume 38. Issue 3*, pp. 253-268. DOI: 10.1177/0143624416675389
- Szeri, A.J. (2017). Boundary layers at a dynamic interface: Air-sea exchange of heat and mass. *Journal of Geophysical Research-Oceans, Volume 122, Issue 4*, pp. 2781-2794.
 - Dou, Y., et al. (2017). Feasibility of developing heat exchange network between incineration facilities and industries in cities: Case of Tokyo Metropolitan Area. *Journal of cleaner production, №9, T.170*, pp. 548-558.
 - Dugdale, S. J., Malcolm, L. A., Kantola, K., & Hannah, D. (2017). Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes. *Journal of cleaner production, №8, T: 610*, pp. 1375-1389.
 - Seleznev, V.E., Aleshin, V.V., & Prjalov, S.E. (2007). *Matematicheskoe modelirovanie truboprovodnyh setej i sistem kanalov. Metody, modeli, algoritmy / Pod red. V.E.Selezneva (Eds.)*. (p.695). Moscow: MAKS Press.
 - Korotaev, J.P., & Shirkovskij, A.I. (1997). *Dobycha, transport i podzemnoe hranenie gaza*. (p.487). Moscow: Nedra.
 - (1978). *Truboprovodnyj transport nefti i gaza*. Pod obshh. red. V.A.Jufina (p.407). Moscow: Nedra.