

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООВОГО ВЛИЯНИЯ НА ГРУНТ ЗДАНИЯ С ОТКРЫТЫМ ПОДПОЛЬЕМ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ЕГО РАЗМЕРОВ

К.В. Рожкова
ООО «НТЦ «Симмэйкерс»
e-mail: ksenia.rozkova@simmakers.ru

В работе рассмотрено компьютерное моделирование в ANSYS CFX аэродинамики здания с открытым подпольем в трехмерной симметричной постановке задачи для двух размеров в плане 10х60 м и 20х60 м, а также представлена оценка теплового влияния сооружения на окружающую среду, в частности, на температуру грунта в подполье. В работе представлены результаты расчета в виде полей скорости ветра и температуры грунта в подполье. Также представлен расчёт температуры воздуха в подполье согласно СП 25.13330.2020, приложению Д, и сопоставление расчета с данными, полученными в результате компьютерного моделирования.

Введение. При проектировании зданий и сооружений в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) одним из популярных проектных решений является обустройство зданий на сваях с открытым подпольем. Данный подход обеспечивает сохранение в мерзлом состоянии основания сооружения при условии регулярной его очистки от снегового покрова при эксплуатации и теплоизоляции здания. Важно оценить, насколько увеличение площади здания сказывается на его тепловом воздействии на грунт, а также как влияет на величину скорости ветра в подполье [1,2].

Скорость ветра является важным параметром при оценке коэффициента теплообмена для поверхности грунта и конденсаторной части сезонно-охлаждающих устройств, а также других поверхностей для компьютерного моделирования теплового состояния мерзлых грунтов в таких программных комплексах, как Frost 3D [3]. Сегодня в инженерной практике полагается, что температура воздуха и скорость ветра в подполье соответствуют значениям в естественных условиях. Простых инженерных методик, которые позволяют оценить скорость ветра в подполье и тепловое воздействие от сооружения, практически нет. Температуру воздуха в открытом подполье можно оценить согласно СП 25.13330.2020 (далее СП 25), приложению Д [4], при этом данная методика не позволяет определить скорость ветра.

В данной работе рассматривается компьютерное моделирование аэродинамики здания с открытым подпольем в трехмерной постановке задачи с учетом радиационного и конвективного теплообмена в программном комплексе ANSYS CFX. Произведено сравнение температур, полученных вследствие компьютерного моделирования и расчета по СП 25.

Постановка задачи. ANSYS CFX – программный комплекс для моделирования процессов гидрогазодинамики, где численно решается уравнение Навье-Стокса методом конечных элементов. В ANSYS CFX рассматривалась задача трехмерного симметричного обтекания воздухом здания с открытым подпольем, где моделировались процессы конвективного и радиационного теплообмена с моделью турбулентности SST (интенсивность – 5 %). Нестационарный аэродинамический расчёт производился до установления квазистационарного равновесия в модели.

В данном исследовании рассмотрено два здания высотой $h = 7$ м с размерами в плане 10х60 м и 20х60 м, высотой открытого подполья $s = 1,6$ м. Здание установлено на круглых сваях с диаметром $d = 0,3$ м, расстояние между сваями составляет $l \approx 3$ м. Так как задача симметричная, то рассмотрена только половина здания. Для здания с габаритами 10х60 м размеры расчетной области составили 75х110х40 м, для 20х60 м – 80х120х40 м.

Воздействие здания на окружающую среду учитывалось при помощи граничных условий. На границах модели были заданы следующие граничные условия (рис. 1):

– поверхность грунта задана как адиабатическая стенка, а степень черноты поверхности принята как для песка $\epsilon_g = 0,76$ [5];

– на поверхности здания задан теплообмен по Ньютону с учётом теплообмена по Стефану-Больцману (ГУ 4-го рода), с температурой здания $T_b = 22$ °С, коэффициентом теплообмена $\alpha = 1$ Вт/м² К и чернотой поверхности для бетона $\varepsilon_b = 0,8$ [5];

– на левой грани задано условие входящего потока воздуха (Inlet), где задается скорость ветра v , температура воздуха T_{air} , °С и избыточное давление, равное 0 Па;

– на правой и верхней грани модели задано граничное условие на выходе (Outlet);

– в случае естественной конвекции ($v = 0$ м/с) на верхней и боковых гранях было задано условие с открытой границей (Opening).

При расчетах варьировались следующие параметры:

– скорость ветра $v = 0$ м/с (естественная конвекция), 1 м/с, 2 м/с, 3 м/с;

– температура воздуха $T_{air} = -20$ °С, 0 °С.

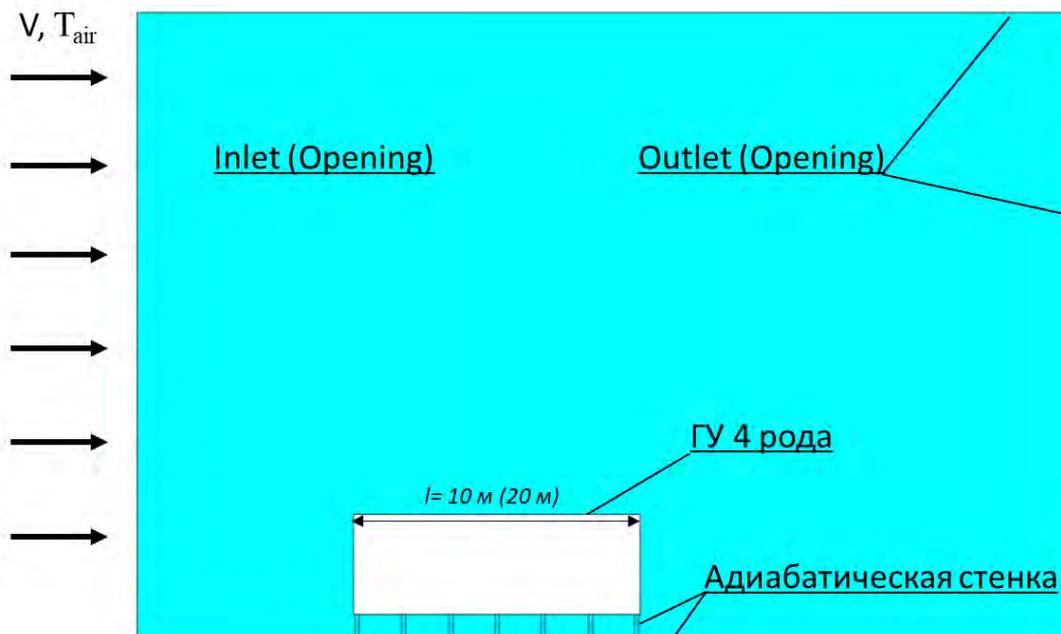


Рис. 1. Граничные условия

Расчет температуры подполья согласно СП 25, приложению Д, был произведён с помощью калькулятора условий теплообмена Frost 3D. Пример расчета в калькуляторе представлен на рис. 2. Площадь здания была принята равной 600 м², что соответствует зданию с линейными размерами 10х60 м, и 1200 м² – для 20х60 м. Площадь продухов была рассчитана как произведение периметра сооружения p (без учета площади свай) и высоты подполья s . Коэффициент потери напора принят равным 0,9, т.к. в постановке задачи присутствуют сваи, влияющие на скорость потока.

Расчет условий теплообмена

Файл Справка

Результат

Температура в подполье 0.080419984875 [°C]

Входные параметры

Расчет температурного режима вентилируемого подполья

Скорость ветра 3 [м/с]

Температура наружного воздуха 0 [°C]

Температура воздуха в помещении 22 [°C]

Площадь сооружения 600 [м²]

Вентилирование

Рассчитать модуль вентиляции

Площадь продухов 202.88 [м²]

Соотношение расстояния между зданиями (L) и высоты зданий (H) L >= 5H

Аэродинамический коэффициент Сооружение прямоугольной формы

Коэффициент потери напора 0.9

Объемная теплоемкость воздуха 1300 [Дж/м³·К]

Тепловое сопротивление перекрытий 1 [м²·К/Вт]

Учет наличия цоколя

Учет наличия коммуникаций

Рис. 2. Калькулятор условий теплообмена Frost 3D

Результаты расчетов. По результату компьютерного моделирования в ANSYS CFX было произведено 16 расчетов в зависимости от размеров здания, скорости ветра v и температуры воздуха T_{air} . В результате были получены:

- поле скоростей на границе симметрии;
- поле скоростей в подполье на расстоянии 0,8 м от поверхности грунта;
- поле температур на поверхности грунта;
- усредненные температуры по нижней грани грунта в подполье T_{cp} °C;
- максимальная и средняя скорость ветра в подполье v_{max} , v_{cp} м/с;
- расчёты температуры в подполье согласно приложению Д СП 25, T_k °C.

На рис. 3 представлено поле скоростей в подполье на высоте 0,8 м от поверхности грунта для зданий шириной 20 м при температуре окружающего воздуха -20 °C и скорости ветра 3 м/с. На рисунке наглядно продемонстрировано снижение скорости ветра при отдалении воздушного потока от места входа в подполье, а также возникновение локальных минимумов скорости ветра за сваями по направлению обтекания потоком воздуха.

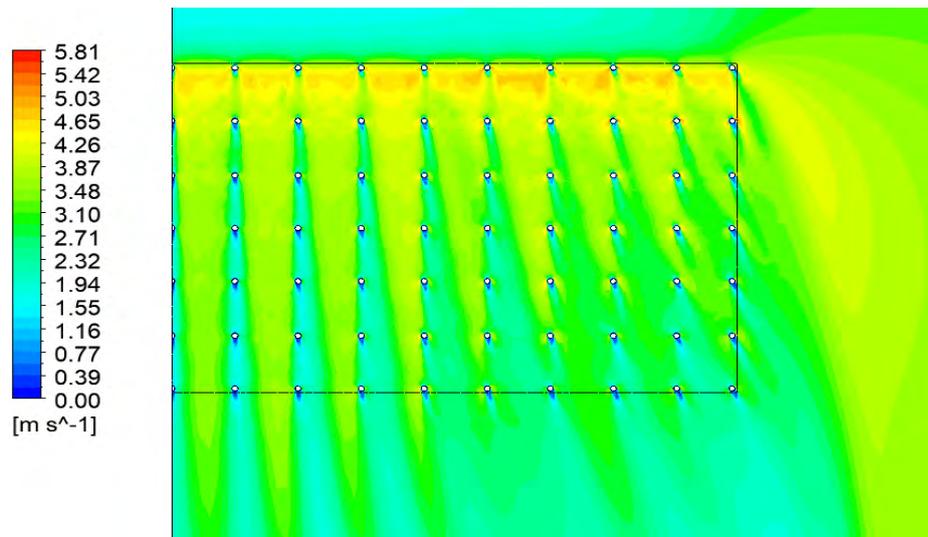


Рис. 3. Поле скоростей в подполье на высоте 0,8 м от поверхности грунта для здания шириной 20 м при температуре окружающего воздуха $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра 3 м/с

На рис. 4 представлено тепловое поле на поверхности грунта под зданием для сооружения размерами 20x60 м при температуре окружающего воздуха $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра 3 м/с. Наблюдается постепенное увеличение температуры поверхности грунта по мере удаления от места входа потока воздуха в подполье.

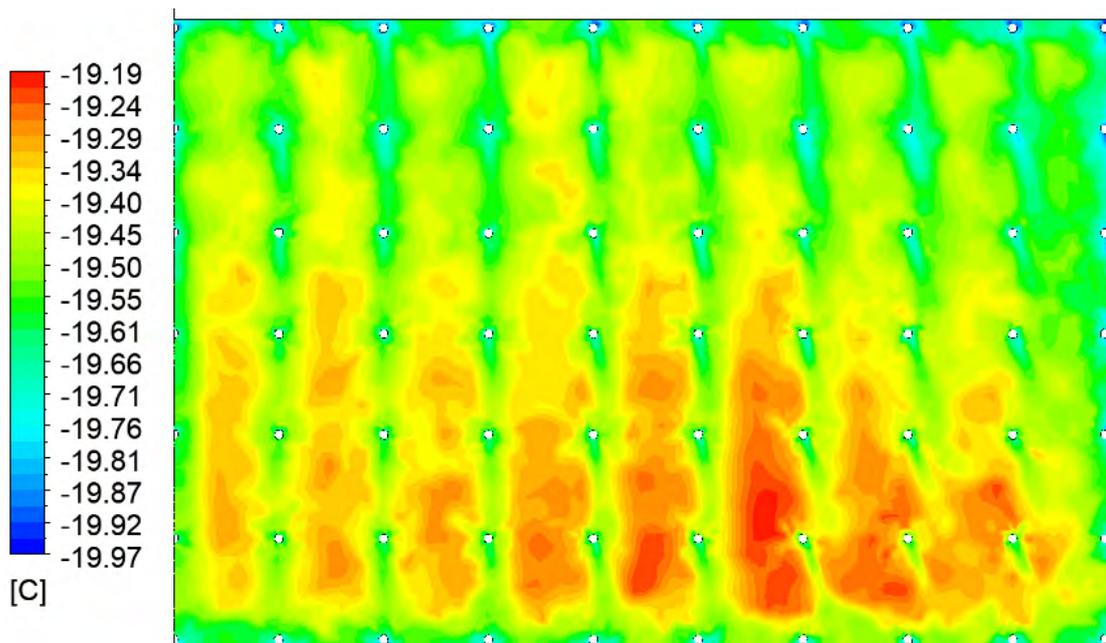


Рис. 4. Тепловое поле на поверхности грунта под зданием для сооружения размерами 20x60 м при температуре окружающего воздуха $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра 3 м/с

В табл. 1 представлены значения средней и максимальной температуры поверхности грунта под зданием, полученные в ANSYS CFX и с помощью калькулятора условий теплообмена Frost 3D, проводящего расчет согласно СП 25. Расчет T_k для случая естественной конвекции ($v = 0$) не приведён, т.к. методика СП 25 не предназначена для такого случая. В случае естественной конвекции ($v = 0$) температура воздуха в подполье значительно выше (до $4,58\text{ }^{\circ}\text{C}$) по сравнению с $v > 0$.

Таблица 1

Температура воздуха на поверхности грунта в подполье, рассчитанная в ANSYS CFX T_{cp} и по СП 25 T_k в зависимости от скорости ветра v , температуры воздуха T_{air} и размеров здания

v , м/с	Размеры здания 10x60 м			Размеры здания 20x60 м		
	T_k	T_{cp}	T_{max}	T_k	T_{cp}	T_{max}
$T_{air} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$						
0	-	1,89	4,48	-	2,1	4,58
1	0,24	0,56	1,05	0,42	0,65	1,29
2	0,12	0,21	0,49	0,21	0,31	0,60
3	0,08	0,12	0,28	0,14	0,16	0,34
$T_{air} = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$						
0	-	-15,91	-10,81	-	-15,30	-10,66
1	-19,54	18,97	-17,70	-19,21	-18,60	-17,15
2	-19,77	19,51	-18,88	-19,60	-19,29	-18,62
3	-19,85	-19,68	-19,29	-19,73	-19,61	-19,18

В табл. 2 приведены значения скорости ветра в подполье. Средние значения скорости близки по значению к начальной скорости ветра, максимальные – выше ≈ 2 раза.

Таблица 2

Скорость ветра в подполье, рассчитанная в ANSYS CFX, в зависимости от начальной скорости ветра v , температуры воздуха T_{air} и размеров здания

v , м/с	Размеры здания 10x60 м		Размеры здания 20x60 м	
	v_{max}	v_{cp}	v_{max}	v_{cp}
$T_{air} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$				
0	-	0,06	-	0,07
1	2,09	1,07	1,85	0,98
2	4,16	2,10	3,39	1,97
3	6,20	3,12	5,39	2,97
$T_{air} = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$				
0	-	0,08	-	0,09
1	2,16	1,10	1,92	0,98
2	4,10	2,09	4,16	1,96
3	6,14	3,13	6,21	2,92

Выводы. В рамках данной работы было проведено компьютерное моделирование аэродинамики здания с открытым подпольем в трехмерной симметричной постановке в ANSYS CFX. Полученные значения изменяющихся параметров были проанализированы в зависимости от габаритов здания, температур воздуха T_{air} и начальных скоростей ветра v . Дополнительно проведен сравнительный анализ с результатами, полученными согласно методике СП 25, приложению Д.

По результатам расчета в ANSYS CFX для здания с большими размерами максимальная и средняя скорость ветра в подполье получаются выше в среднем на $\approx 15\%$. Также при увеличении площади здания в 2 раза наблюдается повышение температуры на поверхности грунта. Наибольшая разница температур наблюдается в условиях естественной конвекции и равна $\approx 9,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ для $T_{air} = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $\approx 4,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ для $T_{air} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Сравнение температур воздуха на поверхности грунта, полученных в результате компьютерного моделирования и расчета по СП 25.13330.2020, приложению Д, показало хорошую корреляцию друг с другом. Разность между результатами уменьшалась при увеличении скорости ветра. Расчёт по своду правил всегда показывал температуры ниже, оптимистичнее, чем результаты расчета в ANSYS CFX.

Необходимы дальнейшие исследования для изучения влияния скорости ветра на тепловой режим в открытых подпольях. В частности, следует рассмотреть разный угол направления ветра при обтекании здания, нестандартные конфигурации, большой диапазон температур и учесть тепловое влияние свай.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gaoa Q. Effect of a ventilated open structure on the stability of bored piles in permafrost regions of the Tibetan Plateau [Text] / Q. Gaoa, Z. Wena, A. Brouchkovd, M. Zhange. //Cold Regions Science and Technology. –2020 –178.
2. Федоровых Ю.Ю. Влияние строительных конструкций при расчете аэродинамического режима вентилируемого подполья технологических зданий и сооружений нефтегазовых месторождений [Текст] / Ю.Ю. Федоровых // Технологии обустройства нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. ОАО «ТомскНИПИнефть», Томск, 24-25 сентября 2019, 4 с.
3. Программный комплекс для тепловых расчетов грунтов FROST 3D: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.frost3d.ru> (Дата обращения: 01.06.2022).
4. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Москва, 2020.
5. Таблица коэффициентов излучения (степени черноты) ϵ , в зависимости от материала поверхности : [Электронный ресурс]. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsHeatAndTemperature/EmmisionCoefficients/EmmisionCoefficientsTable01/> (Дата обращения: 01.06.2022).