

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГИДРОСЪЕМНИКЕ БУРОВОГО СТАВА

Новиков В.И.

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет, г. Санкт-Петербург*

Ключевые слова: струйная цементация, буровой став, уплотнительная манжета, моделирование, тепловой баланс, распределение температурного поля.

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению моделирования распределения температуры в узле «гидросъемник-буровой вал», что является важным аспектом при проектировании устройств сверхвысокого давления, применяемых в технологии струйной цементации грунтов. Построена 3D модель участка бурового вала с приложением соответствующей тепловой нагрузки и рассчитано тепловое поле, возникающее в процессе эксплуатации данного конструктивного элемента.

MODELING OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE GYDRAULIC DRILL RIG

Novikov V.I.

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint-Petersburg*

Keywords: jet-grouting, drilling bar, sealing, modeling, heat balance, thermal conductivity equation, temperature field distribution.

Abstract. The article is devoted to the consideration of modeling the temperature distribution in the unit "hydraulic puller-drill shaft", which is an important aspect of engineering high-pressure jet-grouting devices. A 3D model of the drill shaft section with the application of the appropriate heat load was built and the thermal field calculated during the operation of this structural element was calculated.

Сегодня одним из широко применяемых направлений в технологии и технике разрушения грунтов для создания из них грунтобетона является метод струйной цементации грунтов, для реализации которого используются устройства сверхвысокого давления. В литературных данных только несколько работ [1-3] посвящено разработке оборудования, применяемого при струйной цементации. На практике стараются использовать подобные устройства, разработанные для бурения, однако, выдерживаемое ими наибольшее давление, является невысоким и становится сдерживающим фактором при использовании технологии струйной цементации, что ведет к необходимости разработки универсальных устройств сверхвысокого давления, обеспечивающих расширение области эффективного применения метода струйной цементации грунтов, но при моделировании напряженно-деформированного состояния подобных устройств разработчик сталкивается с рядом задач, которые связаны с очагами повышенного трения и соответственно распределением тепловых полей; и расчетами на прочность и наличие деформаций элементов конструкций. Эти задачи достаточно сложны и не решаемы путем применения одной формулы

(уравнения) и расчет требуется производить с применением метода конечных элементов.

Основываясь на разработанных методиках [4, 5] проведено моделирование распределения температуры в элементах гидросъемника бурового става в процессе эксплуатации с использованием «Компас-3DFEM». «Компас-3DFEM» является современным, программным обеспечением, позволяющим решать прикладные задачи прочности, теплообмена и т.д. методом конечных элементов. Входными данными для «Компас-3DFEM» являются не математические модели изучаемых технических объектов (уравнения и граничные условия), а расчетные схемы – действующие на объект нагрузки и приложенные граничные условия. Результатом расчета могут быть, в частности, значения перемещений, напряжений или температур [6].

Соответственно построена 3D-модель бурового вала (рис. 1), как одного из контактных элементов гидросъемника по поверхности которого происходит тепловыделение (подсвечены выделением).

3D-модель представляет собой цилиндрическую часть бурового вала гидросъемника длиной 188 мм, ограниченная с двух сторон фланцевыми элементами предварительного закрепления, с внутренним глухим отверстием $\varnothing 45$ мм для подачи водно-цементной смеси. На рисунке 1 показано сечение рассматриваемого вала по центральной оси. В силу того, что возникающая тепловая мощность одинаково воздействует на контактные поверхности, как бурового вала, так и уплотнительного элемента, достаточно рассмотреть распределение теплового поля в буровом вале, без создания 3D-модели уплотнительной манжеты. Аналогичным образом для проведения теплового расчета не рационально создавать 3D-модели других составляющих элементов гидросъемника, т.е. корпуса, штуцера подвода суспензии, крепежных элементов, поскольку они не взаимодействуют с моделируемыми контактными поверхностями и их присутствие не влияет на количество выделяемой теплоты.

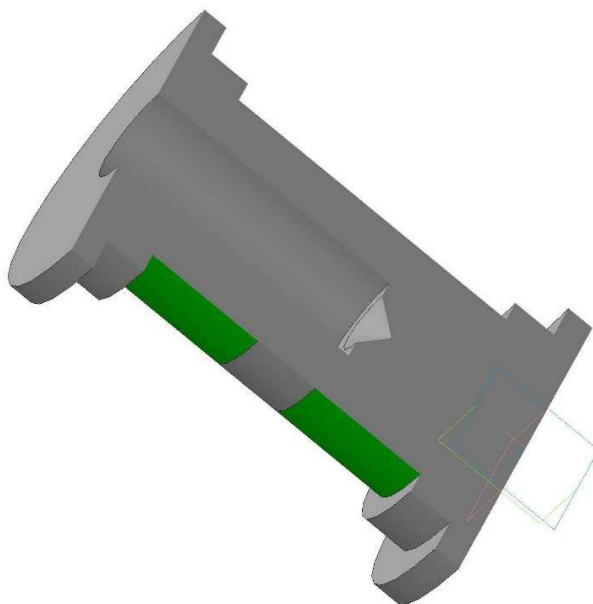


Рис. 1. 3D-модель части бурового вала с фланцевыми элементами предварительного закрепления и поверхностями трения

В качестве материала бурового вала задана «Сталь 10». Построение конечно-элементной модели произведено элементами с максимальной длиной стороны 5 мм и сетка конечных элементов сгенерирована с максимальными коэффициентами сгущения на поверхности и разрежения в объеме – 1 и 1,5 соответственно. В результате сетка содержит 38331 конечных элементов и 10318 узлов.

Чтобы задать тепловую нагрузку необходимо рассчитать значение температуры, воздействующей на контактные поверхности. При известном значении величины тепловой мощности (при давлении 36 МПа за 3 минуты она составляет 7,6 кВт [3]) количество выделившейся за то же время теплоты будет равняться произведению мощности на время и составляет 1368 кДж. С другой стороны, количество теплоты можно определить по формуле [7]:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T, \tag{1}$$

где c – удельная теплоемкость вещества, для стали составляет приблизительно 500 Дж/кг°C;

m – масса вещества, составляет 12,42 кг;

ΔT – изменение температуры $T_2 - T_1$ (от начального значения 20°C до конечного искомого), °C.

Задаваемым значением является величина температуры T_2 и после преобразования формулы (1), формула для расчета T_2 имеет вид:

$$T_2 = \frac{Q}{c \cdot m} + T_1, \tag{2}$$

Подставляя численные данные в формулу (2), получаем значение температуры $T_2 = 240^\circ\text{C}$. До такой температуры нагреваются контактирующие поверхности трения бурового вала и уплотнительного элемента в гидросъемнике, температура остальных поверхностей принята 20°C. Распределение теплового поля внутри бурового вала, представлено на рисунке 2, согласно расчету, температура более 200°C распространяется на глубину не более 10 мм от контактной поверхности.

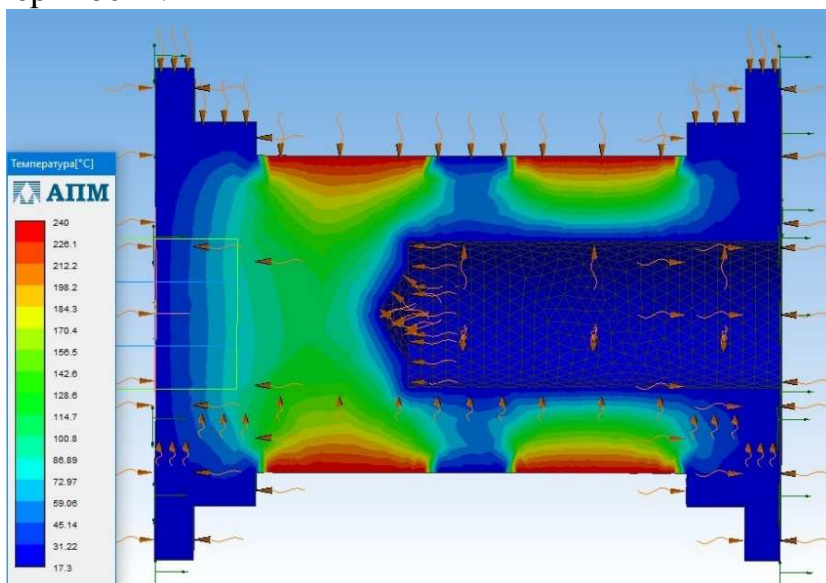


Рис. 2. Модель распределения теплового поля в буровом вале с фланцевыми элементами предварительного закрепления

Полученные значения распределения температуры показывают, что, отдельные элементы, применяемых в настоящее время устройства сверхвысокого давления в частности уплотнительные элементы не выдерживают подобную тепловую нагрузку, т.к. их диапазон рабочих температур лежит ниже 200°С.

Список литературы

1. Головин К.А. Обоснование параметров и создание оборудования для гидроструйной цементации неустойчивых пород в горном производстве: дисс. ... докт. техн. наук / Тульский государственный университет. – Тула, 2007. – 336 с.
2. Леонтьев Н.С. Выбор и обоснование конструктивных параметров и режимов работы гидросъемника гидроструйной бурильной машины: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Тульский государственный университет. – Тула, 2012. – 16 с.
3. Головин К.А., Маликов А.А., Пушкарев А.Е. Тепловой режим работы гидросъемника высокого давления на установках гидроструйной цементации. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 4. – С.46-52.
4. Новиков В.И. Особенности расчета теплового баланса гидросъемника бурового става при струйной цементации грунтов // Актуальные вопросы современной науки Сборник статей по материалам XX международной научно-практической конференции. Т. 1. – Уфа: Издательство «Дендра», 2019. – С.104-108.
5. Новиков В.И., Пушкарев А.Е., Воронцов И.И. Методика моделирования теплового баланса элементов конструкции строительно-дорожных машин для струйной цементации грунтов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – № 3. – С.369-376.
6. Новиков В.И., Кокоулин Д.А. Особенности выбора для дальнейшего изучения обучающимися систем автоматизированного проектирования // Педагогические параллели: Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2018. – С.609-613.
7. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики: учебник для вузов / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – Москва: Изд-во МГУ, Наука, 2004. – 798 с.

Сведения об авторе:

Новиков Виталий Иванович – к.т.н., доцент кафедры Судебных экспертиз, СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург.