

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТЕФАНА МЕТОДОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И СКВОЗНОГО СЧЕТА

Колодийчук П.А. (ИТМО)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Пилипенко Н.В. (ИТМО)

Введение. Солнечные, приливные и ветряные электростанции не обладают постоянством генерирующих мощностей и без использования дополнительного оборудования не гарантируют стабильность передачи потребителю. Аналогичный характер использования имеют системы вентиляции и охлаждения: в дневное время наблюдается пик потребления, а ночью активность уменьшается. Применение накопителей холода, является перспективной формой аккумулирования энергии [1]. В работе [2, 3] описываются результаты экспериментальных исследований, в которых отсутствуют значения теплового потока от аккумуляторного элемента к теплоносителю. При этом фиксировались температуры хладоносителя на входе и выходе из резервуара аккумулятора, с использованием которых проводился расчет теплового потока. Значения теплового потока, полученные подобным образом, являются приблизительными, поскольку включают в себя теплопритоки от окружающей среды через внешние стенки резервуара, и усредненными, поскольку описывают тепловой поток после прохождения слоя засыпки, не описывая тепловой поток от отдельных элементов.

Возникает необходимость определения нестационарного теплового потока между хладоносителем и отдельным элементом в засыпке. Это позволит как избежать ошибок, вызванных усреднением теплового потока по всем аккумуляторным элементам, так и подобрать оптимальные размеры и наполнитель элементов в зависимости от их расположения.

Основная часть. Необходимо восстановить нестационарный тепловой поток от хладоносителя (воды) к теплоаккумулирующему веществу (муравьиной кислоте) для отдельного элемента батареи аккумуляторов тепловой энергии. Для достижения цели необходимо решить следующую задачу:

— Провести моделирование процесса разрядки аккумуляторной батареи тепловой энергии методом параметрической идентификации и осуществить восстановление теплового потока, решив обратную задачу теплопроводности (ОЗТ).

Решение ОЗТ методом параметрической идентификации подробно рассмотрено в [4]. Однако для расчета фазового перехода (задачи Стефана) необходимо связать параметрическую идентификацию с другим методом, позволяющим решать нелинейные задачи. Так был выбран метод сквозного счета, который заключается в сглаживании скачкообразно изменяющихся теплофизических характеристик исследуемого вещества [5].

При переходе к численному решению методом сквозного счета разрывные функции сглаживаются, а функция теплоемкости начинает в себя включать теплоту плавления. Важно отметить, что решение методом сквозного счета не позволяет точно определить границу раздела фаз. Для рассматриваемой задачи критерием завершения процесса разморозки является условие, что в любой точке исследуемого тела, где находится теплоаккумулирующее вещество, температура выше температуры плавления на величину полуинтервала сглаживания.

Ниже на рисунке представлены результаты решения обратной задачи теплопроводности – восстановления нестационарного теплового потока методом параметрической идентификации и сопоставлены с решением, полученным в пакете CFD программы Ansys.

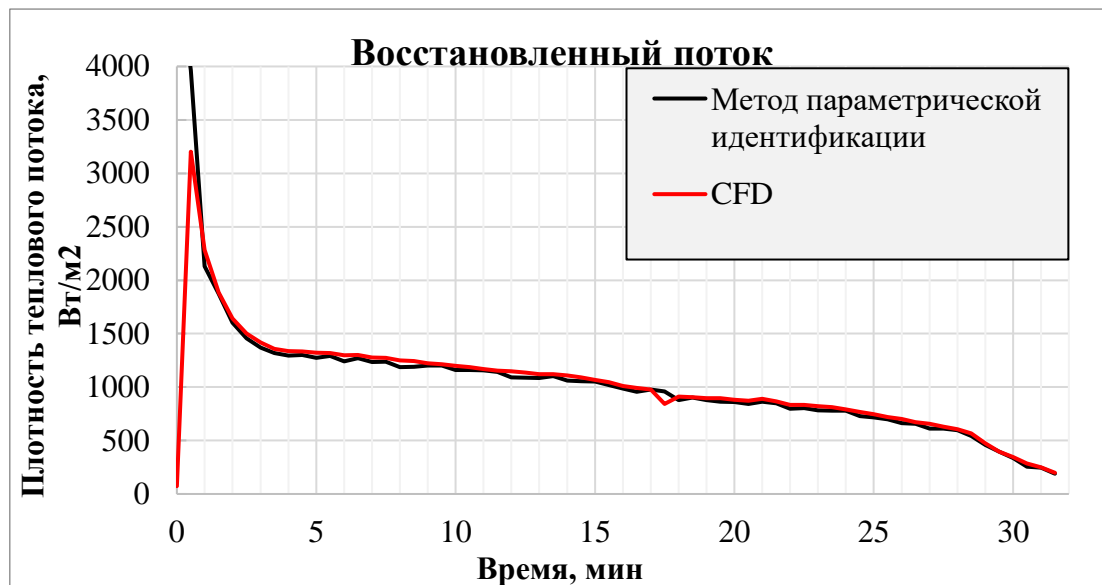


Рисунок. Результаты расчета плотности нестационарного теплового потока на поверхности аккумуляторного элемента тепловой энергии

Выводы. Рассмотрено восстановление нестационарного теплового потока от хладоносителя к теплоаккумулирующему веществу путем параметрической идентификации дифференциально-разностной модели теплопереноса при решении обратной задачи теплопроводности методом сквозного счета. Отмечена сходимость с решение задачи численным методом в программе Ansys.

Литература

1. Nada S., Alshaer W., Saleh R. Experimental investigation of PCM transient performance in free cooling of the fresh air of air conditioning systems // Journal of Building Engineering. 2020. N. 29. P. 101153. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101153>
2. Kasibhatla R. R., Brüggemann D. Coupled conjugate heat transfer model for melting of PCM in cylindrical capsules // Applied Thermal Engineering. 2021. N. 184. P. 116301. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116301>
3. Захарова В.Ю., Файзуллин Р.О., Бараненко А.В., Кузнецов П.А. Методика расчета аккумуляторов холода с веществами с фазовым переходом // Вестник Международной академии холода -2021. - № 2(79). - С. 13-20
4. Пилипенко Н.В., Кириллов К.В. Алгоритмы программ для решения прямых и обратных задач теплопроводности при использовании дифференциально-разностных моделей. Научно-технический вестник СПб ГУ ИТМО, №5.-С.106-110, // Научно-технический вестник СПб ГУ ИТМО -2010. - № 5. - С. 106-110
5. А. А. Самарский, Б. Д. Моисеенко, “Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана”, Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 5:5 (1965), 816–827; Comput. Math. Math. Phys., 5:5 (1965), 43–58

Автор _____ Колодийчук П.А.

Научный руководитель _____ Пилипенко Н.В.