

нения – защита проектов с использованием презентации (онлайн). Студенты выбирали темы самостоятельно и оформляли их для наглядности с помощью презентаций. Возникающая дискуссия оказывала существенную помощь в лучшей проработке и понимании материала. Такая форма отчетности еще полезна потому, что является первым опытом выступления перед академической аудиторией с докладом и вопросами.

Таким образом, внешняя эпидемическая обстановка, развитие современных технологий требуют нового подхода в проведении лабораторного практикума. На наш взгляд, не стоит полностью отказываться от классической схемы проведения лабораторных работ, однако стоит использовать для лучшей и эффективной работы тот инструментарий, который предоставляют информационные технологии (телемосты, проекты, демонстрационный имитационный эксперимент и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молекулярная физика: учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности : 1-31 04 08 «Компьютерная физика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/239157/1/Edu-program-7602%20%282019%29.pdf>. – Дата доступа: 6.09.2021.

2. Филиппенко, О. С. Куратор на удаленке / О. С. Филиппенко, А. А. Онищенко // Женщины-ученые Беларуси и России : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26 марта 2021 г. / БГУ ; редкол.: И. В. Казакова (отв. ред.) [и др.]. – Минск , 2021. – С. 401–405.

СОСТАВЛЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА НА ПРИМЕРЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ»

А. И. Пинчук, В. И. Гладковский

*Учреждение образования «Брестский государственный
технический университет», г. Брест, Республика Беларусь*

Известно, что проектирование теплотехнических установок включает их технологический и теплотехнический расчет, назначение оптимальных режимов тепловой обработки, позволяющих экономить тепловую энергию и повышать эффективность работы агрегатов. Существуют две разновидности теплового расчета теплообменных аппаратов: тепловой конструкторский и тепловой поверочный расчёты [1, с. 420].

Конструктивные (проектные) тепловые расчеты выполняются при проектировании новых аппаратов, целью расчета является определение поверхности теплообмена. Поверочные тепловые расчеты выполняются в случае, если известна поверхность нагрева теплообменного аппарата и требуется определить количество переданной теплоты и конечные температуры рабочих жидкостей.

Тепловой расчет теплообменных аппаратов сводится к совместному решению уравнений теплового баланса и теплопередачи. Эти два уравнения лежат в основе любого теплового расчета [2, с. 246].

Уравнение теплового баланса справедливо в случае стационарного режима работы аппарата, а также в том случае, когда можно пренебречь потерями теплоты в окружающую среду и изменением кинетической энергии теплоносителей.

По своей сути, уравнение теплового баланса есть следствие из закона сохранения энергии для процессов теплообмена в замкнутых системах, для которых сумма всех видов энергии в замкнутой системе постоянна. Энергетический (тепловой) баланс любого аппарата может быть составлен в виде уравнения, связывающего приход и расход тепловой энергии:

$$\sum Q_{\text{ПРИХ}} = \sum Q_{\text{РАСХ}} \quad (1)$$

Левая часть уравнения (1) представляет собой количество подведенного к аппарату тепла, правая – сумму отведенного тепла и тепловых потерь. Иначе говоря, закон сохранения энергии в данном случае формулируется следующим образом: приход теплоты в данном аппарате (или производственной операции) должен быть равен расходу теплоты в том же аппарате (или операции).

Схема лабораторной установки, используемая на кафедре физики Брестского государственного технического университета для обучения учащихся теплотехнических специальностей, имеет вид, показанный на рисунке 1.

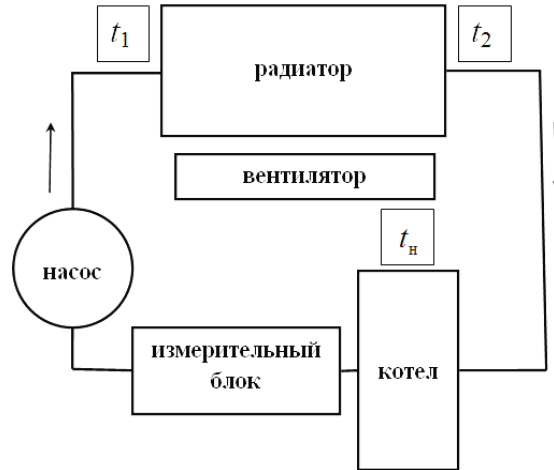


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Стрелками показано направление движения теплоносителя (воды) в контуре. Подогрев воды в котле осуществляется электрическим нагревательным элементом.

Установка функционирует следующим образом. Нагретая в котле вода насосом подается в радиатор. Там теплоноситель отдает часть своей тепловой энергии окружающей среде и возвращается обратно в котел.

В нашем случае

$$\sum Q_{\text{ПРИХ}} = UI, \quad (2)$$

где U – напряжение на электрическом нагревателе, находящемся внутри котла, I – сила тока, проходящего через нагреватель.

$$\sum Q_{\text{РАСХ}} = Q_{\text{К}} + Q_{\text{Н}} + Q_{\text{Р}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{К}}$ – мощность тепловых потерь для котла; $Q_{\text{Н}}$ – мощность тепловых потерь для насоса; $Q_{\text{Р}}$ – мощность выделения тепла в радиаторе.

Согласно закону Ньютона-Рихмана мощности тепловых потерь для котла и насоса могут быть найдены по формулам:

$$Q_{\text{К}} = \alpha_{\text{К}} S_{\text{К}} (t_{\text{К}} - t_{\text{Ж}}), \quad (4)$$

$$Q_{\text{Н}} = \alpha_{\text{Н}} S_{\text{Н}} \left(\frac{t_{\text{К}} + t_1}{2} - t_{\text{Ж}} \right). \quad (5)$$

Мощность выделения тепла в радиаторе находится из известного соотношения:

$$Q_{\text{В}} = c_{\text{В}} G (t_1 - t_2). \quad (6)$$

С учётом соотношений (4–6), уравнение (1) может быть переписано в виде

$$UI = \alpha_{\text{К}} S_{\text{К}} (t_{\text{К}} - t_{\text{Ж}}) + \alpha_{\text{Н}} S_{\text{Н}} \left(\frac{t_{\text{К}} + t_1}{2} - t_{\text{Ж}} \right) + c_{\text{В}} G (t_1 - t_2), \quad (7)$$

где $\alpha_{\text{К}}$ – коэффициент теплообмена поверхности котла с окружающим воздухом, Вт/(м²·К); $S_{\text{К}}$ – площадь поверхности котла (м²); $\alpha_{\text{Н}}$ – коэффициент теплообмена поверхности насоса с окружающим воздухом, Вт/(м²·К); $S_{\text{Н}}$ – площадь поверхности насоса (м²); t_1 – температура воды на входе в радиатор, °С; t_2 – температура воды на выходе из радиатора, °С; $t_{\text{Ж}}$ – комнатная температура (температура жидкости), °С; $c_{\text{В}} = 4200$ Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость воды; G – массовый расход воды в системе, кг/с.

Подставляя в уравнение (7) полученные на опыте численные значения параметров (для первых трех выбранных тепловых режимов), учащиеся получают систему из трёх уравнений. Из полученной системы уравнений находят численные значения трех неизвестных величин: $\alpha_{\text{К}}$, $\alpha_{\text{Н}}$ и G .

С целью контроля правильности произведенных расчетов, учащиеся подставляют в уравнение (7) полученные на опыте численные значения параметров для четвертого теплового режима, а так же рассчитанные ранее численные значения $\alpha_{\text{К}}$, $\alpha_{\text{Н}}$ и G . Расчёт правилен в том случае, если левая часть уравнения численно равна правой.

Фактическое полезное действие тепловой системы определяется по следующей формуле:

$$\eta = \frac{Q_{\text{ПЕРЕД}}}{\sum Q_{\text{ЗАТР}}},$$

где η – КПД, $\sum Q_{\text{ЗАТР}}$ — количество затрачиваемой энергии на нагрев теплоносителя, $Q_{\text{ПЕРЕД}}$ – фактическая передача тепла воздуху (жидкости) в помещении.

Очевидно, что в данном случае $Q_{\text{ПЕРЕД}} = Q_{\text{В}}$, а $\sum Q_{\text{ЗАТР}} = \sum Q_{\text{ПРИХ}}$. Или, с учетом формул (2) и (6), получим:

$$\begin{aligned}\sum Q_{\text{ЗАТР}} &= UI, \\ Q_{\text{ПЕРЕД}} &= c_{\text{В}}G(t_1 - t_2).\end{aligned}$$

Окончательно КПД установки для каждого из четырех режимов в случае естественной и вынужденной конвекции определяется по формуле:

$$\eta = \frac{c_{\text{В}}G(t_1 - t_2)}{UI}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрусталеv, Б. М. Тепло- и массообмен : учебное пособие для вузов по строительным, энергетическим и машиностроительным специальностям : в 2 ч. / Б. М. Хрусталеv [и др.] ; под общ. ред. А. П. Несенчука. – Минск : БНТУ, 2007. – Ч. 2. – 607 с.
2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1977. – 344 с.