

А. П. Несенчук, В. А. Седнин

(Белорусский политехнический институт)

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ПЛАМЕННОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ НА МОДЕЛИ

Исключительная сложность изучения процесса теплообмена на образце приводит к необходимости замены образца моделью, подобной в гидромеханическом и тепловом отношениях. Образование такой модели возможно лишь при соблюдении гидромеханического и теплового подобия. Для этого в модели должно создаваться температурное поле, подобное температурному полю образца. Однако осуществить это на практике очень трудно.

В 1932 г., базируясь на свойствах локальности, стабильности и автомодельности, М. В. Кирпичев и М. А. Михеев предложили методику (конечно, приближенную) локального теплового моделирования, которая была апробирована в Энергетическом институте АН СССР.

Как известно, метод локального подобия предполагает, что модель и образец подобны в гидромеханическом отношении. Это условие нетрудно осуществить приближенно. Полное моделирование теплообмена (получение подобия конвективного теплообмена во всех точках рабочего пространства печи) потребовало бы, как уже отмечалось, создания в рабочем пространстве подобного температурного напора во всех его точках, что практически выполнить трудно. Но если поставить более узкую задачу — создать подобие не полное, а локальное, в одном лишь интересующем нас месте, то последнее условие выполняется сравнительно просто.

Основными условиями приближенного теплового моделирования являются следующие: $Pr = idem$ и $Nu = idem$. Причем критерий Pr — определяющий, а критерий Nu — определяемый.

Моделируя теплообмен в пламенных печах, уместно рабочую жидкость образца в модели заменить воздухом. Выполнив такую замену, мы практически соблюдаем условие $Pr = idem$.

Установление же гидромеханического подобия автоматически приводит к выполнению условия $Nu = idem$ (конечно, в изучаемом месте рабочего пространства печи).

При соблюдении условий $Pr = idem$ и $Re_{вх} = idem$ коэффициент теплоотдачи конвекцией для модели

$$\alpha'' = \frac{q''}{\Delta t''},$$

где q'' и $\Delta t''$ — соответственно тепловой поток и температурный перепад в рассматриваемом месте.

После этого можно записать:

$$Nu'' = \frac{\alpha'' x''}{\lambda''}$$

или, так как

$$Nu'' = Nu' = Nu,$$

то

$$Nu = \frac{\alpha'' x''}{\lambda''}.$$

И, наконец, для образца

$$\alpha' = \frac{Nu \lambda'}{x''} k_l,$$

где k_l — множитель подобного геометрического преобразования.

Объектом изучения явилась проходная термическая конвейерная печь, разработанная институтом «Теплопроект», с площадью активного

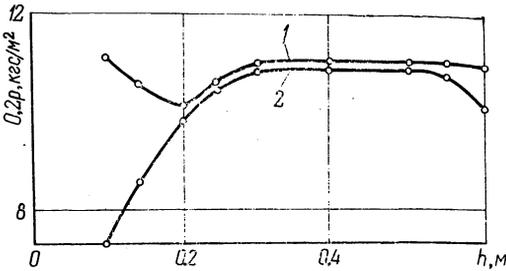


Рис. 1. Распределение статического давления по длине печи (по оси):

1 и 2 — соответственно давление под сводом и на уровне ленты конвейера при скорости газов в кратере горелок 40 м/сек.

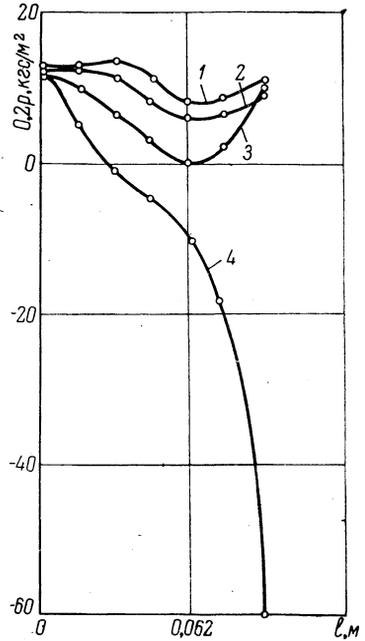


Рис. 2. Распределение статического давления в поперечном сечении печи (изображена правая часть графика):

1 и 4 — соответственно давление под сводом и на уровне ленты конвейера, 2 и 3 — давление в промежуточных сечениях при скорости газов в кратере горелок 40 м/сек.

пода $10,6 \text{ м}^2$. Как показали наладочные испытания, печь работала неудовлетворительно, что выражалось в низкой интенсивности нагрева садки в средней части рабочего пространства и повышенной скорости нагрева в торцах загрузки и выгрузки.

Для выявления причины этого недостатка и его ликвидации было выполнено экспериментальное исследование работы печи. Так как существует тесная взаимосвязь между характером движения греющих газов и конвективной составляющей теплового потока к поверхности садки, изучалась картина движения газов в печи. Изучение выполнялось на «холодной» модели.

При образовании гидромеханически подобной модели были использованы: $k_l = \frac{1}{15}$ и $Re_{вх} = idem = 5300$.

Для выявления картины движения газов в печи делались замеры статического давления по оси рабочего пространства печи на уровне пода и свода (рис. 1), а также по ширине печи в сечении торца выгрузки (рис. 2).

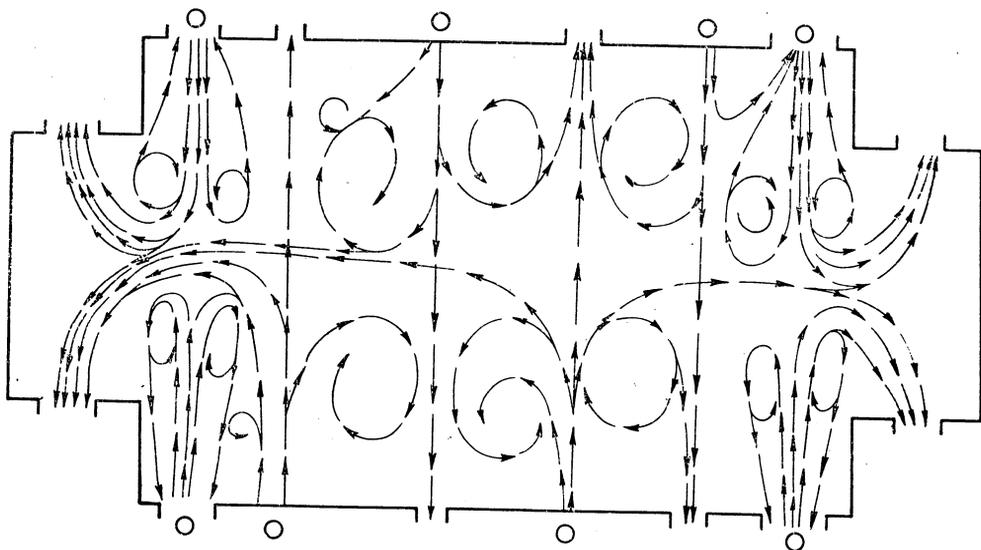


Рис. 3. Общая картина движения печных газов в рабочем пространстве (получена на водяной модели печи).

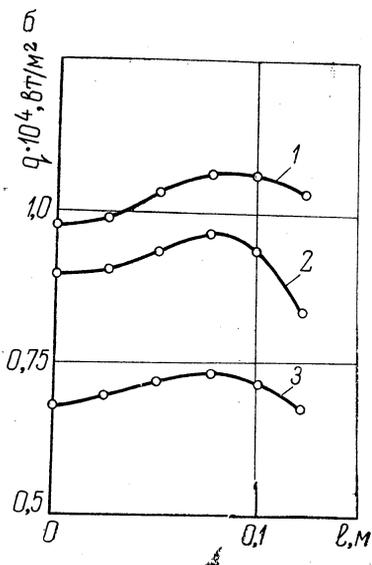
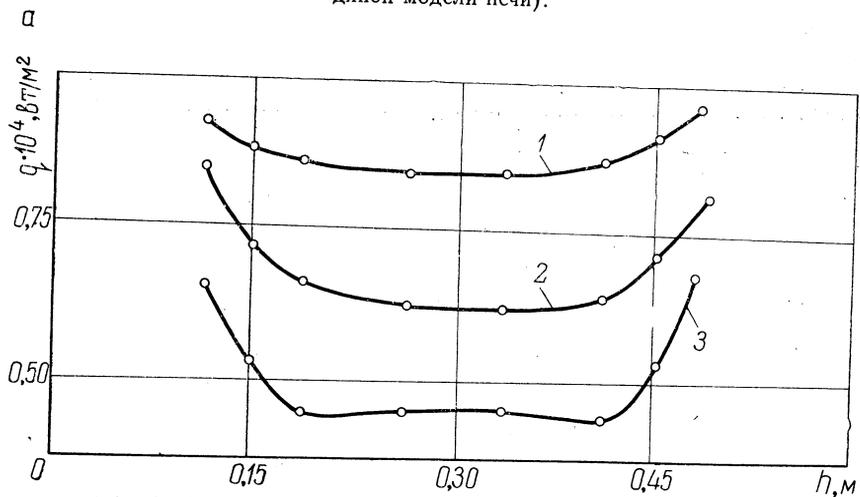


Рис. 4. Распределение тепловых потоков: а — по длине печи (по оси); б — по ширине печи (изображена правая часть графика); 1, 2 и 3 — соответственно для скоростей газов в кратере горелок 40, 35 и 30 м/сек.

Анализ рис. 3 (опыты проводились на воде) указывает на слабую циркуляцию печных газов в средней части рабочего пространства печи. Характер распределения тепловых потоков по длине (рис. 4,а) и ширине (рис. 4,б) печи полностью согласуется с данными, приведенными на графиках рис. 1—3. Как видно из рис. 4,а и б, в средней части печи тепловые потоки к поверхности металла малы по сравнению с потоками в торцах. Что касается потоков тепла по ширине печи, то они распределены сравнительно равномерно.

Как показал опыт, имеет место значительная неравномерность омывания садки печными газами. Из рис. 4,а и б видно, что наиболее благоприятное омывание наблюдается в торцах и по ширине печи. Недостаточное же омывание газами средней части садки вызывает неравномерность прогрева по длине печи, а в конечном итоге при значительных величинах критерия Био — неравномерность прогрева сечения засыпки.

При проведении опытов на модели была предпринята попытка ликвидировать неравномерность распределения тепловых потоков по длине печи путем форсировки работы существующих горелочных устройств. Как показали такие эксперименты, при скорости воздуха в кратере горелок 40 м/сек распределение теплового потока по длине печи становится более равномерным. При этом работа печи существенно улучшается.

Однако следует помнить, что изменение скорости газов в кратере горелки (помимо изменения качества сжигания топлива) повлечет за собой изменение режима работы в печи в целом, что в конечном итоге скажется на темпе толкания и на производительности печи.