

## РАСЧЕТ ПОВЕРХНОСТИ И ДЛИНЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТРУБЧАТОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ

Юсупов А. А.

*Мақалада жылытқыш құбырлардың аралық жылу беруінің және жылу жоғалтуының зерттеуі қарастырылған.*

*In clause is considered research heat feedback and is warm losses u between pipes to warm up.*

Конечной целью теплового расчета системы подогрева нефтегруза является вычисление необходимой поверхности и предварительная компоновка подогревателя: определение длины и числа параллельных по пару ветвей подогревателя. Для этого прежде всего необходимо знать тепловую нагрузку подогревателя  $Q_{\text{пр}}$ . В отличие от существующих в рекомендуемом методе последняя рассчитывается непосредственно из решения дифференциального уравнения теплового баланса нефтегруза в процессе подогрева [1].

Это позволяет рассчитать величину  $Q_{\text{пр}}$  с учетом технологического процесса подогрева и выгрузки нефтегруза с погрешностью менее  $\pm 10\%$  и, следовательно, более обоснованно и точно рассчитывать поверхность нагрева подогревателя.

Анализ термических сопротивлений теплопередачи от конденсирующего пара в трубах подогревателя к нефтегрузу показал, что наиболее существенным является термическое сопротивление теплоотдачи между поверхностью трубы подогревателя и нефтегрузом. Поэтому можно считать, что  $K_{\text{пр}} \approx b_{\text{пр}}$ .

С учетом результатов исследования теплоотдачи между трубами подогревателя и нефтегрузом для практических расчетов в диапазоне

$10 \leq \frac{V_{\text{жс}}}{V_{\text{ст}}} \leq 10^4$  рекомендуется уравнение

$$Nu_{\text{жс}} = 0,544 \cdot Ra_{\text{жс}}^{0,25} \left( \frac{V_{\text{жс}}}{V_{\text{ст}}} \right)^{0,17}. \quad (1)$$

Температура конденсирующего пара определяется при среднем давлении пара в подогревателе

$$p_{\text{ср}} = \frac{p_{\text{вх}} + p_{\text{вых}}}{2}. \quad (2)$$

Поверхность подогревателя  $F_{\text{пр}}$  рассчитывают по обычной формуле.

В существующих методах расчета систем подогрева длина труб подогревателя назначается из чисто конструктивных соображений. Как показала практика, такие подогреватели часто работают не эффективно, так как часть труб по длине подогревателя заполняется конденсатом [2].

$$l_{эфф} = \frac{d}{2} \left\{ \frac{(p_{ex}^{2x} - p_{вых}^2) g}{p_{ex} \lambda_{np}} \frac{g}{g_{ex}''} \left( \frac{d}{d + 2\delta_{cm}} \right)^2 \left[ \frac{i_n - i_{конд}}{K_{nc}(t_n - t_n)} \right]^2 \right\}^{1/3} =$$

$$= B \left\{ \frac{p_{ex}^2 - p_{вых}^2}{p_{ex}} \frac{g}{g_{ex}''} \left( \frac{d}{d + 2\delta_{cm}} \right)^2 \right\}^{1/3}; \quad (3)$$

В разработанном методе расчета длины труб подогревателя определяют по формуле (3), полученной в результате совместного решения уравнений теплообмена и гидродинамики при конденсации пара в горизонтальных трубах. По результатам экспериментального изучения работы подогревателей в расчетах следует принимать  $\lambda_{тр}=0,057$ . По формуле (3) построена номограмма (рисунок), облегчающая расчет длины ветви трубчатого подогревателя [2].

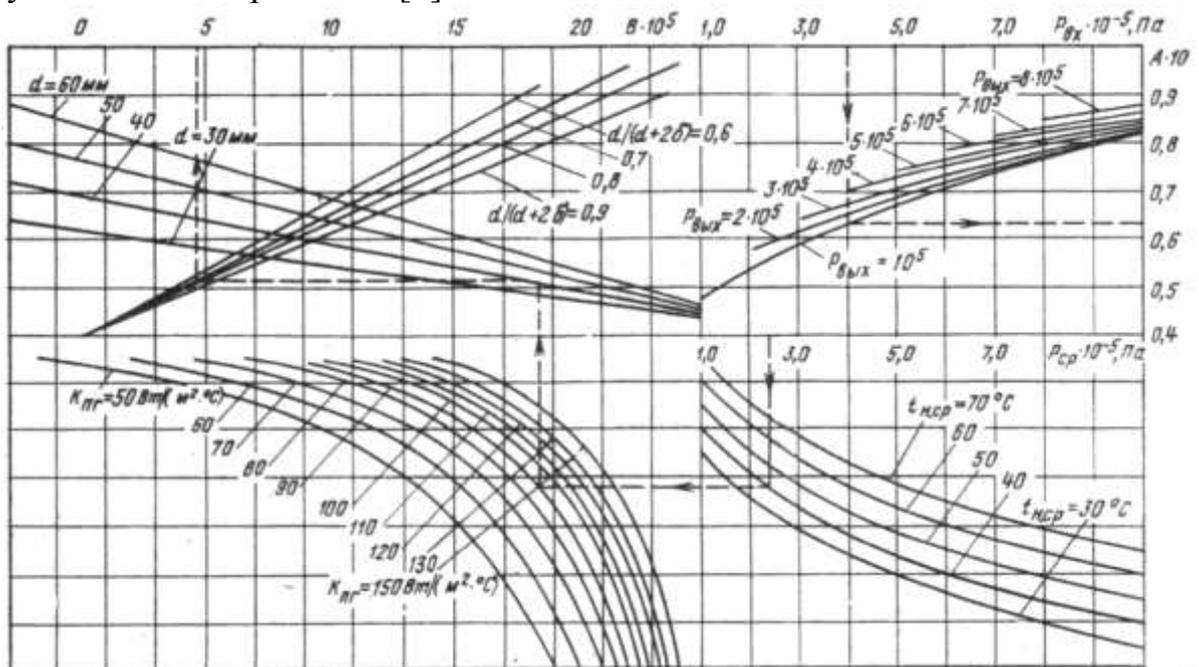


Рис. Номограмма для расчета предельной длины  $l_{эфф}$  секции горизонтального трубчатого подогревателя (в м)

При построении номограммы принято, что в подогреватель поступает сухой насыщенный пар. Если в подогреватель подается влажный пар, то полученное по номограмме значение длины надо умножить на поправочный

коэффициент  $\left( \frac{i_x - i_{конд}}{i'' - i_{конд}} \right)^{2/3}$  [1].

Энтальпия пара на входе в подогреватель определяется по давлению на входе  $p_{вх}$ , а конденсата – по давлению на выходе  $p_{вых}$ . Режим эксплуатации подогревателя может отличаться от расчетного режима, поэтому при конструировании подогревателя на выходе конденсата необходимо

предусматривать установку специальных устройств (конденсатоотводчиков), предотвращающих утечку пара из подогревателя.

Число параллельных ветвей подогревателя рассчитывают по формуле

$$n = \frac{F_{nz}}{l_{эфф} (d_{вн} + 2\delta)\pi}. \quad (4)$$

Если подогреватель состоит из двух и более ветвей, необходимо обеспечить равномерное распределение пара по ветвям подогревателя.

После того как определена величина поверхности подогревателя, длина и число параллельно работающих ветвей, необходимо разместить трубы подогревателя на днище емкости, т.е. выполнить компоновку подогревателя. Как показали исследования теплообмена между нефтегрузом и днищем емкости, компоновка подогревателя существенно влияет на эффективность его работы. С точки зрения эффективности подогрева придонных слоев нефтегруза трубы подогревателя надо располагать возможно ближе к днищу емкости. В принципе при этом должны возрастать теплотери через днище емкости, но при этом надо учитывать, что степень роста теплотерь будет существенно зависеть от конструкции днища (двойное, одинарное). В частности, в отсеках нефтеналивных судов с двойным днищем теплотери возрастут незначительно, если трубы подогревателя положить на днище отсека, так как воздушная прослойка междудонного пространства представляет довольно значительное термическое сопротивление. В то же время такое расположение труб подогревателя существенно улучшит подогрев придонных слоев нефтегруза и уменьшит вероятность «мертвого» остатка после выгрузки [3].

В судах с одинарным днищем трубы подогревателя следует располагать так низко, как это позволяют конструкция подогревателя (соединения труб) и набор корпуса.

На прогрев придонных слоев нефтегруза кроме высоты расположения труб определенное влияние оказывает расстояние по горизонтали между элементами (трубами) подогревателя. Выбор этого расстояния зависит от соотношения поверхности подогревателя и днища отсека, так как трубы подогревателя обычно располагаются равномерно по всей поверхности днища. Чтобы не ухудшать условий прогрева придонного слоя нефтегруза в пространстве между трубами подогревателя, расстояние между ними по горизонтали следует принимать не больше 0,7 – 1 м. Меньшее расстояние принимается для подогревателей, расположенных ближе к днищу отсека. Если не удастся разместить трубы подогревателя равномерно по поверхности днища и выдержать расстояние между трубами меньше указанного предела, то поверхность подогревателя следует сместить частично в сторону борта и частично в район переборочных клинкетов и каналов, по которым нефтегруз перетекает при выгрузке из отсека в отсек [4].

Приведенные рекомендации по компоновке поверхности подогревателя сделаны на основе результатов исследования теплообмена

между нефтегрузом и днищем емкости в процессе подогрева и выгрузки из условия обеспечения минимума «мертвого» остатка нефтегруза после выгрузки. Рекомендации по компоновке из условий надежности и удобства эксплуатации можно найти в работах [1, 3, 4].

#### **Заключение**

По построенной номограмме можно увидеть облегчение расчета длины ветви трубчатого подогревателя. Рассчитаны также среднее давление, число и длина подогревателя.

#### **Литература:**

1. Оленев Н. М. Хранение нефти и нефтепродуктов. М., Недра, 1964.
2. Экспериментальное исследование предельной эффективной длины змеевикового подогревателя. А.З. Щербаков, А.В. Плохов, В.К. Маркин и др. – Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1973, № 4, с 18-20.
3. Couchman A.A.Y., Dowie W.F., McClimant W. *Heating of High – Viscosity Oil Cargoes. – Trans. Inst. Mar. Eng., 1966, v. 78, a 53, p. 53 – 71.*
4. Saunders R.J. *Heat losses from Oil tanker Cargoes. – BSRA TJME, 1967, v. 79, N 12, p. 405 – 414.*