

5. Караваев М.М., Леонов Е.В., Попов И.Г., Шепелев Е.Т. Технология синтетического метанола. Под ред. проф. М.М. Караваева – М.: Химия, 1984.

6. Караваев М.М., Мастеров А.П., Леонов В.И. Промышленный синтез метанола. – М.: Химия, 1974.

УДК 66-5

*Евдокименко Дмитрий Сергеевич,*  
магистрант, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: evdokimenko.dima@yandex.ru

*Ахтареева Екатерина Олеговна,*  
магистрант, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: yekaterina.akhtareeva@bk.ru

*Дементьев Анатолий Иванович,*  
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: dementev@angtu.ru

*Подоплелов Евгений Викторович,*  
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: podoplelov@angtu.ru

### РЕКОНСТРУКЦИЯ СОЕДИНЕНИЯ ТРУБ С ТРУБНОЙ РЕШЕТКОЙ В АППАРАТАХ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

*Evdokimenko D.S., Akhtareeva E.O., Dementev A.I., Podoplelov E.V.*

### RECONSTRUCTION OF THE CONNECTION OF PIPES TO THE GRID IN THE AIR-COOLING UNIT

**Аннотация.** В статье проанализированы виды соединений труб с трубной решеткой в аппаратах воздушного охлаждения. На основе данного анализа предлагается изменить конструкцию крепления труб, и вместо развальцовки использовать затяжные гайки в АВО-103/1-2 установки сернокислотного алкилирования.

**Ключевые слова:** развальцовка, трубная решетка, аппарат воздушного охлаждения, затяжная гайка, трубный пучок.

**Abstract.** The article analyzes the types of pipe connections with a pipe grid in air-cooling devices. Based on this analysis, it is proposed to change the design of pipe fastening instead of rolling to tightening nuts in AVO-103/1-2 of the sulfuric acid alkylation unit.

**Keywords:** flaring, pipe grating, air cooling unit, tightening nut, pipe bundle.

Аппараты воздушного охлаждения в основном используются там, где применение других систем охлаждения технически невозможно или не целесообразно с экономической точки зрения. Крупные производственные предприятия различных отраслей промышленности, расположенные вдали от природных источников воды, нуждаются в охлаждении технологических жидкостей, паров и газов. Для этих целей применяются специальные теплообменные установки – аппараты воздушного охлаждения (АВО) [1].

Одним из важных вопросов совершенствования АВО является прочное и герметичное соединение трубного пучка с трубной решеткой, так как от этого зависит продолжительность работы аппарата, а также каче-

ство охлаждаемого продукта.

Из всех известных способов соединения труб и трубных решеток наиболее производительными следует считать импульсные (способ крепления труб взрывом и электрогидроимпульсный способ), основанные на использовании энергии взрывной волны при взрыве пороха в замкнутом объеме или при мгновенном испарении проволоочки внутри патрона с жидкостью.

Метод крепления труб энергией взрывчатых веществ основан на использовании энергии высокого давления (порядка 1000 МПа), возникающего при взрыве внутри трубы заряда взрывчатого вещества (рис. 1) и вызывающего деформацию трубы и трубной доски.

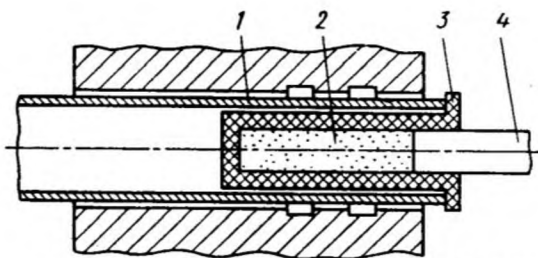


Рисунок 1 – Схема заряда для крепления труб энергией взрывчатых веществ:

1 – закрепляемая труба; 2 – взрывчатое вещество; 3 – полиэтиленовый колпачок; 4 – детонирующий шнур

Метод применяется в основном для крепления труб малого диаметра (менее 14 мм) и наиболее эффективен для крепления труб на значительную глубину (80-200 мм).

Недостатками данного метода являются:

- энергия взрывной волны не обеспечивает стабильного качества соединения;
- взрыв оказывает негативное воздействие на внутреннюю структуру трубы, и часто приводит к появлению продольных трещин на внутренней поверхности закрепляемой трубы;
- для проведения взрывных работ требуется специально оборудованное помещение.

Электрогидравлический метод крепления труб в трубной решетке заключается в использовании энергии импульсного электрического разряда. Импульсный разряд под напряжением 30-50 кВ взрывает проволочку малого диаметра, помещенную внутрь закрепляемой трубы и окруженную жидкой средой (рис. 2).

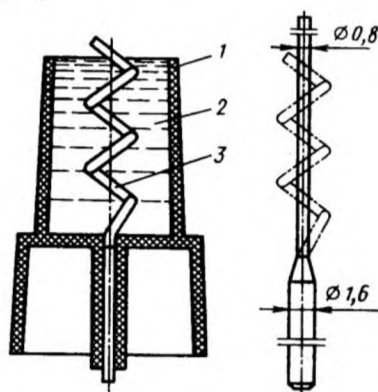


Рисунок 2 – Патрон для электрогидравлической развальцовки: 1 – полиэтиленовый корпус; 2 – жидкий заполнитель; 3 – иницилирующая проволока из алюминия

Данный метод крепления труб применяется в основном для крепления труб малого диаметра (менее 14 мм), а также из высокопрочных материалов и наиболее эффективен при большой глубине развальцовки (до 150 мм).

Недостатки метода: низкая стабильность процесса крепления труб, сравнительно высокая стоимость установки и патрончиков (патрончики разового действия), а также строительства специального помещения, обеспечивающего звукоизоляцию и защиту от высокого напряжения.

Магнитно-импульсный метод крепления труб, как и электрогидравлический, основан на использовании энергии импульсного электрического разряда. Отличие в том, что крепление труб в трубной решетке происходит за счет импульса магнитного поля, образующегося при прохождении разряда через специальный индуктор, помещенный внутрь закрепляемой трубы. При этом в материале трубы, наводятся вихревые токи, увеличивающие диаметр трубы и закрепляющие ее в трубной решетке (рис. 3).

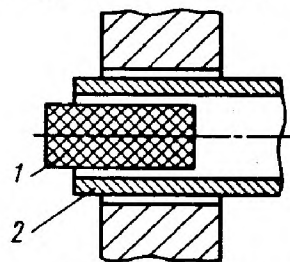


Рисунок 3 – Схема размещения индуктора для крепления труб магнитно-импульсным методом: 1 – специальный индуктор; 2 – закрепляемая труба

Достоинством метода является отсутствие шума при работе. Однако высокая стоимость индукторов, выходящих из строя после каждого импульса, сдерживает промышленное использование этого метода.

Одним из самых распространенных способов крепления труб в трубных решетках в настоящее время является развальцовка с ограничением крутящего момента с помощью развальцовочных установок.

Основные крепления труб в трубной решетке с помощью данного метода показаны на рис. 4.

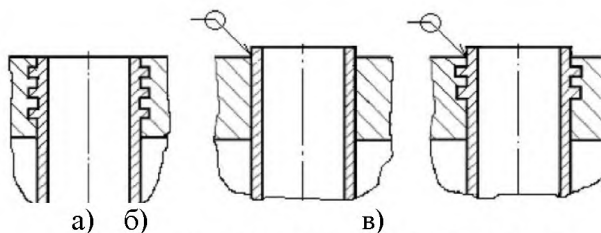


Рисунок 4 – Крепление труб в трубных решетках: а – развальцовкой в канавки; б – сваркой; в – развальцовкой с подваркой

В процессе совместного деформирования трубы и трубной решетки добиваются того, чтобы металл трубы перешел преимущественно в зону пластического (необратимого) деформирования, а металл трубной решетки остался в зоне упругих (обратимых) деформаций. Для обеспечения этого необходимо соблюдать правило: твердость материала трубной решетки должна быть выше твердости материала трубы. В результате процесса развальцовки получается прессовое соединение.

Однако у данного соединения есть недостаток, который сказывается на трудоемкости ремонта трубного пучка.

У аппаратов воздушного охлаждения подвержены износу в основном трубные секции. Основными причинами нарушения работоспособности трубных секций являются коррозионно-эрозионный износ труб и нарушение плотности соединений труб с трубными решетками.

Для выявления дефектов трубных секций проводят последовательное испытание труб и развальцованных соединений труб с решетками с помощью прессовочной камеры или испытательных головок.

Дефектные развальцованные соединения подвальцовывают или обваривают. Возможна замена труб, расположенных в наружных рядах секции, для чего трубу отрезают от трубных решеток, оставшиеся в гнездах обрезки труб сминают и выбивают из гнезд, со стороны межрешеточного пространства устанавливают новую трубу. Трубы со сквозными повреждениями, расположенными внутри пучка, забивают с обеих сторон металлическими пробками.

Заглушение дефектных труб приводит к уменьшению поверхности теплообмена и увеличению потерь напора в трубном пространстве. Допускается заглушать при текущих ремонтах до 10-15 % числа труб, приходящихся на данный ход.

В данной статье предлагается рассмотреть новую конструкцию соединения труб с трубной решеткой на примере АВО-103/1-2. Данная конструкция предполагает не развальцовку труб, а зажатие с помощью зажимной гайки с обратной стороны трубной решетки (рис. 5).

Принцип данной конструкции: зажимная гайка 1 ввинчивается в трубу 3 с обратной стороны трубной решетки 2, тем самым создается плотное соединение между трубой и решеткой, к тому же не создаются напряжения и деформации со стороны решетки. Для герметичного соединения между решеткой, трубой и зажимной гайкой вставляется прокладка. С обратной стороны, чтобы труба оставалась неподвижной, устанавливается буртик и фиксируется зажимной шайбой.

Главное достоинство данной конструкции в том, что при ремонте дефектных труб, особенно тех, которые находятся внутри трубного пучка, их нет необходимости заглушать, а можно просто заменить на новые через отверстие в трубной решетке, куда вставляется труба. Диаметр отверстия в трубной решетке позволяет извлечь оребренную трубу. Таким образом, сохраняется исходная поверхность теплообмена, сокращается время на ремонт дефектных труб, так как не приходится разбирать всю трубную секцию, что, в свою очередь, экономически эффективно.

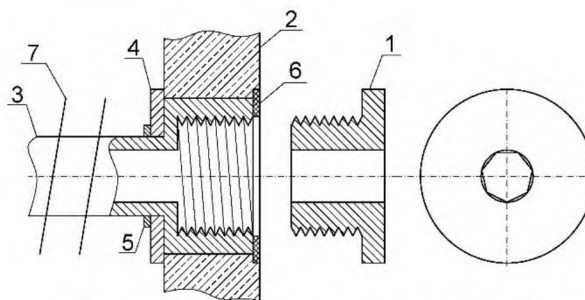


Рисунок 5 – Крепление труб в трубной решетке: 1 – зажимная гайка; 2 – трубная решетка; 3 – труба; 4 – буртик; 5 – зажимная шайба; 6 – прокладка

Проведем прочностной расчет [2] данного соединения труб с трубной решеткой.

Данные конструкции:

- осевое усилие на зажимную гайку:

$$F_W = 6500 \text{ Н};$$

- поперечное усилие на зажимную гайку:

$$Q_W = 500 \text{ Н};$$

- марка стали зажимной гайки: Сталь 20;
- допускаемое напряжение при расчетной температуре  $t = 100^{\circ}\text{C}$  [3]:
- на растяжение –  $[\sigma] = 118 \text{ МПа}$ ,
- на срез –  $[T] = 59 \text{ МПа}$ .
- номинальный диаметр резьбы зажимной гайки:  $D = 42 \text{ мм}$ ;
- шаг резьбы зажимной гайки:  $P = 4 \text{ мм}$ ;
- Диаметр резьбы по впадинам:  $d_3 = 37,09 \text{ мм}$ ;
- диаметр отверстия в зажимной гайке:  $d = 25 \text{ мм}$ .

Расчет.

Площадь сечения зажимной гайки:

$$A_w = \frac{\pi(d_3^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (37,09^2 - 25^2)}{4} = 589,3 \text{ мм}^2.$$

Площадь сечения тела зажимной гайки:

$$A_D = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (42^2 - 25^2)}{4} = 894,1 \text{ мм}^2.$$

Момент сопротивления сечения кручению:

$$W_w = \frac{\pi D^3}{16} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) = \frac{3,14 \cdot 42^3}{16} \cdot \left(1 - \frac{25^4}{42^4}\right) = 12714,5 \text{ мм}^3.$$

Крутящий момент при затяжке:

$$M_K = \frac{\zeta F_w D}{z} = \frac{0,18 \cdot 6500 \cdot 42}{1} = 49140 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

где  $\zeta = 0,18$  – коэффициент наличия смазки, т.е. отсутствие смазки;  $z = 1$  – количество зажимных гаек.

Момент на ключе для обеспечения усилия  $F_w$ :

$$M_{кл} = \frac{\zeta_1 F_w D}{z} = \frac{0,37 \cdot 6500 \cdot 42}{1} = 101010 \text{ Н} \cdot \text{мм},$$

где  $\zeta_1 = 0,37$  – отсутствие смазки.

Напряжение среза по резьбовой части:

$$T_w = \frac{Q_w}{A_w z} = \frac{500}{589,3 \cdot 1} = 0,8 \text{ МПа}.$$

$$T_w = 0,8 \text{ МПа} < [T] = 59 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Напряжение среза тела болта:

$$T_D = \frac{Q_w}{A_D z} = \frac{500}{894,1 \cdot 1} = 0,6 \text{ МПа}.$$

$$T_D = 0,6 \text{ МПа} < [T] = 59 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Напряжение растяжения в зажимной гайке:

$$\sigma_w = \frac{F_w}{A_w z} = \frac{6500}{589,3 \cdot 1} = 11 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_w = 11 \text{ МПа} < [\sigma] = 118 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Напряжение среза резьбы в зажимной гайке:

$$T_P = \frac{F_w}{\pi d_3 h z K_i K_m} = \frac{6500}{3,14 \cdot 37,09 \cdot 42 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 0,6} = 3,0 \text{ МПа},$$

где  $K_i = 0,75$  – коэффициент полноты резьбы зажимной гайки;

$K_m = 0,6$  – коэффициент деформации витков;

$h = 42 \text{ мм}$  – рабочая высота резьбы зажимной гайки.

$$T_P = 3,0 \text{ МПа} < [T] = 59 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Напряжение кручения в зажимной гайке:

$$T_{sw} = \frac{M_K}{W_w} = \frac{49140}{12714,5} = 3,86 \text{ МПа}.$$

$$T_{sw} = 3,86 \text{ МПа} < [T] = 59 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Напряжение среза резьбы трубы:

$$T_P = \frac{F_w}{\pi D h z K_i K_m} = \frac{6500}{3,14 \cdot 42 \cdot 42 \cdot 1 \cdot 0,875 \cdot 0,6} = 2,2 \text{ МПа},$$

где  $K_i = 0,875$  – коэффициент полноты резьбы трубы.

$$T_P = 2,2 \text{ МПа} < [T] = 59 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Данный расчет показывает, что прочность резьбового соединения между трубкой и зажимной гайкой выполняется.

Таким образом, после сравнительного анализа между различными соединениями труб с трубной решеткой, можно сделать вывод, что данная конструкция соединения труб с трубной решеткой экономически выгодна, т.к. уменьшает время простоя на ре-

монтаж трубного пучка, а также имеется возможность не заглушать дефектные трубы, а сразу их менять. Поверхность теплообмена будет оставаться прежней, а значит аппарат будет работать эффективней, чем при заглу-

шенных дефектных трубах.

Прочностной расчет показал необходимую прочность резьбового соединения данной конструкции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 55601-2013. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Крепление труб в трубных решетках. Общие технические требования.

2. Сидягин А.А. Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения: учеб.

пособие / А.А. Сидягин, В.М. Косырев. Н.Новгород: НГТУ, 2009. 150 с.

3. Марочник металлов. URL: [http://metallischekiportal.ru/marki\\_metallov/stk/20](http://metallischekiportal.ru/marki_metallov/stk/20) (дата обращения: 16.11.2020).

УДК 620.197.3

*Ковалюк Елена Николаевна,*  
к.х.н., доцент кафедры «Технология электрохимических производств»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail:  
[ken.agta@mail.ru](mailto:ken.agta@mail.ru)

*Васютина Анастасия Александровна,*  
магистрант кафедры «Технология электрохимических производств»  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: [nastyu.vasyutina.97@mail.ru](mailto:nastyu.vasyutina.97@mail.ru)

*Матофонов Владимир Витальевич,*  
магистрант кафедры «Технология электрохимических производств»  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail:  
[matofonov.vova@mail.ru](mailto:matofonov.vova@mail.ru)

### ИЗУЧЕНИЕ ОКСАЗОЛИДИН-2-ОНОВ В КАЧЕСТВЕ ИНГИБИТОРОВ КИСЛОТНОЙ КОРРОЗИИ СТАЛИ

*Kovalyuk E.N., Vasyutina A.A., Matofonov V.V.*

### STUDY OF OXAZOLIDIN-2-ONES AS INHIBITORS ACID CORROSION OF STEEL

**Аннотация.** В статье приводятся результаты исследования отдельных представителей оксазолидин-2-онов в качестве ингибиторов кислотной коррозии стали. Методом полного двухфакторного эксперимента оценено влияние температуры и концентрации ингибиторов на степень защиты. Приведены результаты электрохимических испытаний стали. Оксазолидин-2-оны можно отнести к группе перспективных ингибиторов кислотной коррозии стали и продолжить исследования.

**Ключевые слова:** ингибиторы коррозии, оксазолидин-2-оны, степень защиты, двухфакторный эксперимент, электрохимические испытания.

**Abstract.** The article presents the results of a study of individual representatives of oxazolidin-2-ones as inhibitors of acid corrosion of steel. The influence of temperature and inhibitor concentration on the degree of protection was evaluated by a complete two-factor experiment. The results of electrochemical tests of steel are presented. Oxazolidin-2-ones can be attributed to a group of promising inhibitors of acid corrosion of steel and continue research.

**Keywords:** corrosion inhibitors, oxazolidin-2-ones, degree of protection, two-factor experiment, electrochemical tests.

Ингибиторы кислотной коррозии находят широкое применение в различных отраслях промышленности: при травлении металлов в машиностроении и металлургии,

очистке теплообменной аппаратуры при удалении накипи и отложений, в нефтедобывающей и газовой промышленности при кислотной обработке пластов с целью увеличе-