

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Работа выполнена под руководством к.т.н. Егорова С. Я.

ТГТУ, Кафедра «Автоматизированное проектирование
технологического оборудования»

Введение

Размещение трубопроводной арматуры (ТА) является одной из задач проектирования химических производств, которая до настоящего времени решается вручную. В статье разрабатываются критерий и математическая модель задачи размещения ТА, что позволит автоматизировать решение этой задачи.

Словесно задачу размещения ТА, можно сформулировать так: найти пространственное расположение ТА на технологических трубопроводах, с учетом всех правил, требований и ограничений, при котором критерий оптимальности достигает экстремума.

Для её формализации введём следующие допущения и обозначения:

1. Все объекты, участвующие в процессе трассировки (арматура, аппараты, металлоконструкции, перекрытия, колонны, т.д.) аппроксимируются параллелепипедами. Участки трубопровода – цилиндрами.

2. Объекты пересекаются, если пересекаются соответствующие параллелепипеды, цилиндры.

3. Расстояние между объектами c' и c'' измеряется в манхэттенской

метрике:
$$\rho(c', c'') = |x_{c'} - x_{c''}| + |y_{c'} - y_{c''}| + |z_{c'} - z_{c''}|$$

Исходные данные для задачи размещения трубопроводной арматуры включают:

- информацию о размещении и размерах оборудования ХТС:

$$AP = \left\{ AP_p = \left(x_p^x, y_p^y, z_p^z, l_p^x, l_p^y, l_p^z, \theta, D \right), p = 1 \dots NA \right\},$$

- информацию о строительных конструкциях цеха (колонны, перекрытия, металлоконструкции, фундаменты и опоры):

$$KON = \left\{ KON_t = \left(x_{kon_t}^x, y_{kon_t}^y, z_{kon_t}^z, l_{kon_t}^x, l_{kon_t}^y, l_{kon_t}^z \right), t = 1 \dots NK \right\}$$

- информацию о расположении технологических трубопроводов

$$TRAS = \left\{ TRAS_j = \left\{ F_j = \left(xnt_{fj}, ynt_{fj}, znt_{fj}, xkt_{fj}, ykt_{fj}, zkt_{fj}, d_{fj} \right), \right. \right. \\ \left. \left. f = 1 \dots NF, j = 1 \dots NT \right\} \right\}$$

- Информацию о типах и размерах ТА:

$$AR = \left\{ AR_{kj} = \left(tar_{kj}, lar_{kj}^x, lar_{kj}^y, lar_{kj}^z, \theta_{kj}, d_{kj}, h_{kj}^{cmp} \right), k = 1 \dots NAR_j, j = 1 \dots NT \right\}$$

Выходные данные для задачи размещения ТА содержат сведения о расположении ТА на технологических трубопроводах:

$$AR' = \left\{ AR'_{kj} = \left(xar_{kj}, yar_{kj}, zar_{kj}, \theta_{kj} \right), k = 1 \dots NAR_j, j = 1 \dots NT \right\},$$

Информационно-логическая модель процесса размещения ТА

Вариант размещения ТА на технологических трубопроводах зависит от ряда факторов основными из которых являются: характеристики размещаемой арматуры (тип, назначение, условный диаметр, материал, длина и высота, тип привода)[1]; сведения из технических паспортов о требованиях к установке арматуры на трубопроводе; разнообразные ведомственные инструкции, правила по технике безопасности[2], ремонту и обслуживанию арматуры, а также конструкционные и технологические ограничения невыполнение которых может привести к проблемам по установке, ремонту, замене арматуры или к её неправильной работе.

Приведённые ниже ограничения математической модели разработаны на основе перечисленных выше требований:

Ограничение 1. На ориентацию расположения арматуры на трубопроводе:

- на вертикальном участке

$$\left(xar_{kj} = xnt_{fj} = xkt_{fj} \right) \vee \left(yar_{kj} = ynt_{fj} = ykt_{fj} \right)$$

$$\forall AR_{kj} \in AR : \theta_{kj} = 90^0$$

- на горизонтальном участке

$$\left(\left(zar_{kj} = znt_{fj} = zkt_{fj} \right) \wedge \left(xar_{kj} = xnt_{fj} = xkt_{fj} \right) \right) \vee$$

$$\left(\left(zar_{kj} = znt_{fj} = zkt_{fj} \right) \vee \left(yar_{kj} = ynt_{fj} = ykt_{fj} \right) \right)$$

$$\forall AR_{kj} \in AR : \theta = 0^0, \text{ где } k=1 \dots NAR_j, f=1 \dots NF, j=1 \dots NT \quad (1)$$

Ограничение 2. Минимальное расстояние между ТА установленной на разных трассах должно быть не менее допустимого:

$$\rho\left(AR_{k'j'}, AR_{k''j''}\right) \geq \left[R_{AR_AR}\right] \quad (2)$$

$$\forall k'=1\dots NAR_{j'}, k''=1\dots NAR_{j''}, j' \neq j'', j'=1\dots NT, j''=1\dots NT.$$

Ограничение 3. Минимальное расстояние между ТА и аппаратами должно быть не менее допустимого:

$$\rho\left(AP_p, AR_{kj}\right) \geq \left[R_{AP_AR}\right] \forall P=1\dots NA, j=1\dots NT, k=1\dots NAR_j \quad (3)$$

Ограничение 4. На минимальное расстояние между ТА и строительными конструкциями:

$$\rho\left(KON_t, AR_{kj}\right) \geq \left[R_{KON_AR}\right] \forall t=1\dots NK, j=1\dots NT, k=1\dots NAR_j \quad (4)$$

Ограничение 5. На непересечение ТА с аппаратами:

$$\nu AR_{kj} \cap \nu AP_p = \emptyset, \text{ где } \forall k = 1\dots NAR_j; j = 1\dots NT; p = 1\dots NA \quad (5)$$

Ограничение 6. На непересечение ТА со строительными конструкциями:

$$\nu AR_{kj} \cap \nu KON_t = \emptyset, \forall k = 1\dots NAR_j; j = 1\dots NT; t = 1\dots KON \quad (6)$$

Ограничение 7. На непересечение ТА друг с другом:

$$\nu AR_{k'j'} \cap \nu AR_{k''j''} = \emptyset, \quad (7)$$

$$\forall k'=1\dots NAR_{j'}; k''=1\dots NAR_{j''}; j', j''=1\dots NT, j' \neq j''$$

Ограничение 8. Для удобства обслуживания арматуры расстояние до ручного привода трубопроводной арматуры от уровня пола помещения или площадки, с которой производят обслуживание должно быть не более регламентированного нормативно – технической документацией:

$$\left\{ \begin{array}{l} zar_{kj} \leq h^{don} \text{ при } \theta = 90^0 \\ h_{kj}^{cmp} + zar_{kj} \leq h^{don} \text{ при } \theta = 0^0 \end{array} \right. \quad (8)$$

Ограничение 9. На соответствие диаметров штуцера аппарата и ТА:

$$\rho\left(AP_p; AR_{kj}\right) - \frac{I}{2} l_{kj}^{cmp} \geq l^{don} \forall d_p^i > d_{kj} \quad (9)$$

Ограничение 10. На соответствие условных диаметров арматуры и диаметра трубопровода:

$$d_{fj} = d_{kj} \quad \forall f = 1 \dots NF, k = 1 \dots NAR, j = 1 \dots NT \quad (10)$$

Критерий оптимальности

В качестве критерия эффективности задачи использован аддитивный критерий вида:

$$S = \sum_{j=1}^{NT} \sum_{k=1}^{NAR} \sum_{i=1}^4 S_i(AR), \text{ где} \quad (11)$$

S_1 – месторасположение ТА на трассе; S_2 – удобство обслуживания; S_3 – дополнительные затраты на возведение площадки для обслуживания арматуры; S_4 –расстояние от ТА до аппарата источника (приёмника).

Первая составляющая критерия характеризует положение арматуры на трассе трубопровода. Оценивается в баллах и имеет вид:

$S_1=0$ – трубопроводная арматура расположена в зоне обслуживания аппарата источника (приёмника), $S_1=1$ –вне зоны.

Вторая составляющая критерия оценивает удобство обслуживания арматуры с точки зрения возможности её обслуживания с нулевой отметки пола или с уже имеющейся площадки обслуживания: $S_2=0$ – обслуживание ведётся с пола, $S_2=1$ – обслуживание ведётся с площадки.

Третья составляющая критерия оценивает затраты на проведение дополнительных мероприятий по созданию условий для обслуживания арматуры, если таковые требуются:

$S_3=0$, если $zar_{kj} + h_{kj}^{cmp} \leq h^{don}$ - арматуру можно обслужить с пола,

$S_3=c1 \cdot h_{пл} = c1 \cdot (zar_{kj} - h^{don})$, если $zar_{kj} + h_{kj}^{cmp} > h^{don}$ - возводится дополнительная площадка обслуживания, $S_3= c2_j \cdot 2(zar_{kj} - h^{don})$ - меняется конфигурация трассы.

Четвёртая составляющая критерия вычисляет расстояние от аппарата источника (приёмника) до места установки арматуры:

$$S_4 = \rho \left(AP_j, AR_{kj} \right) = \left| x_{nt_{1j}} - x_{ar_{kj}} \right| + \left| y_{nt_{1j}} - y_{ar_{kj}} \right| + \left| z_{nt_{1j}} - z_{ar_{kj}} \right|.$$

Так как составляющие критерия имеют разную размерность: S_1 и S_2 – баллы, S_3 - руб., S_4 - метры, то необходимо произвести нормализацию критерия и привести его к безразмерному виду. Для этого представим критерий в виде:

$$S(AR) = \sum_{j=1}^{NT} \sum_{k=1}^{NAR} \sum_{i=1}^4 \rho_i \cdot \omega_i \left(AR_{kj} \right), \text{ где} \quad (12)$$

$\omega_i(AR'_{kj}), i=1...4$ - монотонные функции, преобразующие каждую функцию цели $S_i(AR'_{kj})$ к безразмерному виду:

$$\omega_i \left(AR'_{kj} \right) = \frac{S_i \left(AR'_{kj} \right) - S_{i0}}{S_i \left(max \right) \cdot S_{i0}}, i = 1...4; AR_{kj} \in TRAS_j, \text{ где}$$

$S_{i0}, i = \overline{1...4}$ - оптимальное значение функции цели; $S_i(max), i=1...4$ - наибольшее значение минимизируемых функций, т.о. значения $\omega_i(AR'_{kj}), i=1...4$ лежат в пределах от 0 до 1.

Исходя из всего изложенного, задачу размещения ТА можно сформулировать следующим образом: найти координаты размещения $AR' = \{ AR'_{kj} = (xar_{kj}, yar_{kj}, zar_{kj}, \theta_{kj}), k = 1...NAR_j, j = 1...NT \}$ всей арматуры, так чтобы были выполнены условия (1-10) и критерий (12) достигал минимума.

Список условных обозначений:

NA - общее число оборудования ХТС в цехе; xa_p, ya_p, za_p - соответственно координаты расположения точки вставки аппарата по координатным осям (КО); la^x_p, la^y_p, la^z_p - размеры параллелепипеда, описывающего p -ый аппарат по КО; θ_p - угол поворота аппарата вокруг оси OZ ; D_p - список диаметров штуцеров p -го аппарата; KON_t - вектор параметров конструкции с номером t ; NK - общее число конструкций в цехе; $xkon_p, ykon_p, zkon_t$ - соответственно координаты расположения точки вставки конструкции по КО; $lkon^x_t, lkon^y_t, lkon^z_t$ - размеры параллелепипеда, описывающего t -ую конструкцию по КО; $TRAS_j$ - вектор параметров трубопровода с номером j ; $F_{j\tau}$ - вектор параметров f -го участка трубопровода с номером j ; NF_j - общее число участков j -го трубопровода; NT - общее число технологических связей ХТС; $xnt_{j\tau}, ynt_{j\tau}, znt_{j\tau}$ - координаты расположения начальной точки f -го участка j -го трубопровода по КО; $xkt_{j\tau}, ykt_{j\tau}, zkt_{j\tau}$ - соответственно координаты расположения конечной точки f -го участка j -го трубопровода по КО; $d_{j\tau}$ - диаметр f -го участка j -го трубопровода; AR_{kj} - вектор параметров k -ой арматуры принадлежащей трубопроводу с номером j ; tar_{kj} - тип k -ой арматуры j -го трубопровода; $lar^x_{kj}, lar^y_{kj}, lar^z_{kj}$ - размеры параллелепипеда, описывающего k -ую арматуру КО; θ_{kj} - возможная ориентация арматуры в пространстве; d_{kj} - условный диаметр k -ой арматуры j -го трубопровода; h_{kj}^{comp} - строительная высота k -ой арматуры j -го трубопровода; NAR_j - количество ТА, устанавливаемой на j -ый трубопровод; NT - общее число технологических связей ХТС; AR'_{kj} - вектор параметров k -ой арматуры принадлежащей трубопроводу с номером j ; h^{oon} - максимально допусти-

мая высота от уровня пола (площадки обслуживания) до маховика ТА;
 $c1$ - усреднённые затраты на возведение площадки обслуживания высотой
1м.[руб/м]; $c2_j$ - стоимость 1м. j-го трубопровода.

Список литературы

1. П.А.Жунев, Ю.Д.Кокин номенклатурный каталог справочник по трубопроводной арматуре, выпускаемой в СНГ. Москва 2000
2. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений