

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

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

- Информацию о типах и размерах ТА:

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

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

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

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

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

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

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

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 ; $F_{j\Gamma}$ - вектор параметров f -го участка трубопровода с номером j ; NF_j - общее число участков j -го трубопровода; NT - общее число технологических связей ХТС; $xnt_{j\Gamma}, ynt_{j\Gamma}, znt_{j\Gamma}$ - координаты расположения начальной точки f -го участка j -го трубопровода по КО; $xkt_{j\Gamma}, ykt_{j\Gamma}, zkt_{j\Gamma}$ - соответственно координаты расположения конечной точки f -го участка j -го трубопровода по КО; $d_{j\Gamma}$ - 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