

УДК 621.65

ТРИЛЛЕР Е.А., НАДЕЕВ Е.И., ПЕТЕЛИН Э.А., НЕМЦЕВ Э.Н., БРАТАШ Е.А.
(Красноармейский индустриальный институт ДонНТУ),
КЛЫЧКОВ А.А. (НИИГД "Респиратор")

ВЫБОР НАСОСОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В КОПРАХ И НАДШАХТНЫХ ЗДАНИЯХ

Предложена методика расчета разветвленного трубопровода и выбора насоса для тушения пожара в копрах и надшахтных зданиях. На основании закона сохранения энергии составлено общее уравнение разветвленной гидравлической сети. Представлены результаты расчета разветвленного трубопровода и сделан выбор насоса для тушения пожара в копре главного подъема в условиях шахты "Родинская" ГП "Красноармейскуголь".

Запропоновано методику розрахунку розгалуженого трубопроводу та вибору насоса для гасіння пожежі в копрах і надшахтних будівлях. На підставі закону збереження енергії складено загальне рівняння розгалуженої гідравлічної мережі. Представлено результати розрахунку розгалуженого трубопроводу та зроблений вибір насоса для гасіння пожежі в копрі головного підйому в умовах шахти "Родинська" ДП "Красноармійськвугілля".

The method of calculation of the ramified pipeline and choice of pump is offered for extinguishing of fire in head-frame and above mine buildings. On the basis of law of conservation of energy worked out a general equation of the ramified hydraulic network. The results of calculation of the ramified pipeline are presented and the choice of pump is done for extinguishing of fire in the head-frames of the main getting up in the conditions of mine "Rodinskaya" GP "Krasnoarmeyskugol".

РАСЧЕТ, НАСОС, ТРУБОПРОВОД, ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СЕТЬ, ЭНЕРГИЯ,
УРАВНЕНИЕ, ПОЖАР, КОПЕР, НАДШАХТНОЕ ЗДАНИЕ, ДИАМЕТР, НАПОР,
ПОДАЧА, РАСХОД, БЕЗОПАСНОСТЬ

РОЗРАХУНОК, НАСОС, ТРУБОПРОВІД, ГІДРАВЛІЧНА МЕРЕЖА, ЕНЕРГІЯ,
РІВНЯННЯ, ПОЖЕЖА, КОПЕР, НАДШАХТНА БУДІВЛЯ, ДІАМЕТР, НАПІР,
ПОДАЧА, ВИТРАТА, БЕЗПЕКА

CALCULATION, PUMP, PIPELINE, HYDRAULIC NETWORK, ENERGY, EQUATION,
FIRE, HEAD-FRAME, ABOVE MINE BUILDING, DIAMETER, PRESSURE, SERVE,
EXPENSE, SAFETY

Расчёт и выбор насосов и трубопроводов для тушения пожара в копрах и надшахтных зданиях, на наш взгляд, может рассматриваться с нескольких точек зрения: теоретической, требований правил безопасности и прикладной.

1. Теоретический аспект

Рассчитывая сложную разветвлённую сеть трубопроводов, иногда приходится решать систему уравнений методом последовательных приближений, что усложняет решение поставленной задачи и за этим теряется физический смысл явления в гидросистеме.

В работе предлагается составить общее уравнение разветвлённой гидравлической сети на основании закона сохранения энергии.

Энергия, переданная насосом в гидравлическую сеть, расходуется на подачу жидкости потребителям и её расход на преодоление гидравлических сопротивлений и подачу жидкости на заданную высоту.

Составим уравнение сохранения секундной гидравлической энергии жидкости в системе трубопроводов от насоса до точки истечения жидкости у потребителей:

$$E_k + E_p = \sum_{i=1}^j E_{ki} + \sum_{i=1}^{\ell} E_{pi} + \sum_{i=1}^m E_{gi} + \sum_{i=1}^n E_{ri}, \quad (1)$$

где E_k – кинетическая энергия, переданная насосом в сеть, Дж,
 E_p – потенциальная энергия, переданная насосом в сеть, Дж,

$\sum_{i=1}^j E_{ki}$ – сумма кинетических энергий жидкости в выходных сечениях потребителей, Дж,

$\sum_{i=1}^{\ell} E_{pi}$ – сумма потенциальных энергий жидкости на уровне выходных сечений потребителей, Дж,

$\sum_{i=1}^m E_{gi}$ – сумма потерь энергии на гидравлическое трение, Дж,

$\sum_{i=1}^n E_{ri}$ – сумма потерь энергии на местных сопротивлениях, Дж.

Поскольку мы рассматриваем расход энергии за секунду, то уравнение (1) можно назвать уравнением баланса мощности и записать в следующем виде:

$$N_k + N_p = \sum_{i=1}^j N_{ki} + \sum_{i=1}^{\ell} N_{pi} + \sum_{i=1}^m N_{gi} + \sum_{i=1}^n N_{ri}, \quad (2)$$

где N_k – мощность, переданная насосом на покрытие потерь напора (для цилиндрического трубопровода), Вт,

$$N_k = \frac{v^2 \rho Q}{2} = \frac{Q^3 \rho}{2S^2} = \frac{8Q^3 \rho}{\pi^2 D_t^4}, \quad (3)$$

v – скорость движения потока жидкости, м/с,

ρ – плотность потока жидкости, кг/м³,

Q – подача насоса (объёмный расход жидкости), $\text{м}^3/\text{с}$,
 S – площадь поперечного сечения трубопровода, м^2 ,
 D_t – диаметр нагнетательного трубопровода насоса, м ,
 N_p – мощность, переданная насосом для перемещения жидкости на уровень выходных сечений потребителей, Вт :

$$N_p = P \cdot Q, \quad (4)$$

P – избыточное давление, создаваемое насосом, Па .

$\sum_{i=1}^j N_{ki}$ – мощность движущегося потока жидкости в выходных сечениях потребителей, Вт :

$$\sum_{i=1}^j N_{ki} = \sum_{i=1}^j \frac{8Q_i^3 \rho}{\pi^2 D_i^4}, \quad (5)$$

Q_i – объёмный расход жидкости в трубопроводе i -го потребителя, $\text{м}^3/\text{с}$,

D_i – диаметр трубопровода i -го потребителя, м ,

$\sum_{i=1}^{\ell} N_{pi}$ – мощность, расходуемая на преодоление противодействия, Вт :

$$\sum_{i=1}^{\ell} N_{pi} = \sum_{i=1}^{\ell} Q_i \rho g H_i, \quad (6)$$

H_i – геометрическое положение выходного сечения i -го потребителя относительно плоскости сравнения, м

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$,

$\sum_{i=1}^m N_{gi}$ – потери мощности на местных сопротивлениях, Вт :

$$\sum_{i=1}^m N_{gi} = \sum_{i=1}^m A_{gi} \ell_i Q_i^3 \rho g, \quad (7)$$

A_{gi} – единичное сопротивление по длине (сопротивление прямой трубы длиной 1 м) i -го потребителя¹, $\text{с}^2/\text{м}^6$,

ℓ – длина i -го трубопровода, м ,

$\sum_{i=1}^n N_{ri}$ – потери мощности на местных сопротивлениях, Вт :

$$\sum_{i=1}^n N_{ri} = \sum_{i=1}^n \xi_i A_{ri} Q_i^3 \rho g, \quad (8)$$

ξ_i – коэффициент местного сопротивления²,

A_{ri} – единичное местное сопротивление (сопротивление фасонной детали)³, $\text{с}^2/\text{м}^5$.

¹ Величина A_{gi} выбирается из таблиц прил. 5 [1]

² Величина ξ_i выбирается из таблиц прил. 4 [1]

³ Величина A_{ri} выбирается из таблиц прил. 5 [1]

После подстановки всех составляющих в уравнение баланса мощности, получим, Вт:

$$\frac{8Q^3 \rho}{\pi^2 D_t^4} + PQ = \sum_{i=1}^j \frac{8Q_i^3 \rho}{\pi^2 D_i^4} + \sum_{i=1}^{\ell} Q_i \rho g H_i + \sum_{i=1}^m A_{gi} \ell_i Q_i^3 \rho g + \sum_{i=1}^n \xi_{\xi} A_{ri} Q_i^3 \rho g, \quad (9)$$

Принимая во внимание, что напор насоса определяется из выражения, м:

$$H = \frac{P}{\rho g}, \quad (10)$$

разделим обе части уравнения (9) на ρg и реши его относительно H :

$$\frac{8Q^3 \rho}{\pi^2 D_t^4 g} + HQ = \sum_{i=1}^j \frac{8Q_i^3}{\pi^2 D_i^4 g} + \sum_{i=1}^{\ell} Q_i H_i + \sum_{i=1}^m A_{gi} \ell_i Q_i^3 + \sum_{i=1}^n \xi_{\xi} A_{ri} Q_i^3,$$

получим необходимый напор насоса, м:

$$H = \frac{1}{Q} \left(\sum_{i=1}^j \frac{8Q_i^3}{\pi^2 D_i^4 g} + \sum_{i=1}^{\ell} Q_i H_i + \sum_{i=1}^m A_{gi} \ell_i Q_i^3 + \sum_{i=1}^n \xi_{\xi} A_{ri} Q_i^3 - \frac{8Q^3 \rho}{\pi^2 D_t^4 g} \right), \quad (11)$$

из уравнения неразрывности потока подача насоса определяется как, м³/с:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (12)$$

2. Требования правил безопасности

Анализ требований правил безопасности [2] показывает, что в последних практически отсутствует информация о расходе воды для тушения пожара в копрах и надшахтных зданиях.

Данная информация представлена в "Инструкции по противопожарной защите угольных шахт" как дополнение к п.6.1.3 "Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах". Так, например, в п.2.2 данной инструкции указано, что "Разводка пожарных трубопроводов на поверхности шахты, расход воды на наружное пожаротушение, водозаборные сооружения и насосные станции должны удовлетворять требованиям строительных норм и правил".

В п.2.8 ограничиваются минимальные значения диаметров трубопроводов: "... к каждому стволу шахты и между зданиями и сооружениями прокладывается водопровод расчётным диаметром, но не менее 100 мм между зданиями и не менее 150 мм – к стволам".

Как следует из п.2.9 "Для противопожарной защиты стволов и приёмных площадок в надшахтном здании устанавливается не менее трёх пожарных кранов условным диаметром 70 мм ... и ... у пожарных кранов должны находиться пожарные рукава со стволами".

Что касается кольцевых трубопроводов с оросителями в устьях стволов, то в соответствии с п.2.10 они "должны обеспечить расход воды: при негорючей крепи ствола – не менее 0,00055 м³/с (2 м³/ч) на 1 м² поперечного сечения; при горючей крепи ствола – не менее 0,00166 м³/с (6 м³/ч) на 1 м² поперечного сечения".

Из п.2.11 для "орошения шкивов и подшкивной площадки расход воды на пожаротушение должен быть не менее 0,007 м³/с (25 м³/ч) при давлении у оросителей не менее 0,4 МПа (4 кгс/см²)".

Относительно помещений башенных копров категории А, Б и В в п.2.12 сказано, что они "должны оборудоваться внутренним пожарным трубопроводом в соответствии со строительными нормами и правилами".

Таким образом, мы имеем все необходимые граничные условия для проведения расчёта.

Зная, что диаметр трубопровода определяется как, м:

$$D_i = \sqrt{\frac{4Q_i}{\pi v}},$$

где v – скорость движения потока жидкости в трубопроводе, $v = 1,2 \div 1,7$ м/с.

При заданном значении Q_i для i -го трубопровода можно определить необходимую минимальную величину D_i , обеспечивающую расход жидкости в соответствии с требованиями правил безопасности.

Интересным является тот факт, что в правилах безопасности **не оговорена** (выделено авторами) необходимость одновременной работы всех потребителей, что позволяет подбирать насосы с меньшей подачей, а следовательно более низкой стоимости. Однако данный факт является спорным с той точки зрения, что насосная установка должна быть рассчитана для эксплуатации в экстремальных (наиболее нагруженных) условиях.

3. Прикладное решение

Проведём расчёт разветвлённого трубопровода и выбор насоса для тушения пожара в копре главного подъёма на примере шахты "Родинская" ПО "Красноармейскуголь". Исходные данные для расчёта представлены в табл. 1. Расчётная схема разветвлённой гидравлической сети приведена на рис. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта пожарного трубопровода и выбора насоса

№ п/п	Наименование потребителя	Расход воды (Q_i), м ³ /с
1	Орошение подшивной площадки и шкивов	0,00700 м ³ /с
2	Пожарный ствол внутреннего пожаротушения	0,00500 м ³ /с
3	Водяная завеса в устье ствола	0,01572 м ³ /с
4	Наружное пожаротушение	0,01000 м ³ /с
5	Общий расход воды	0,03772 м ³ /с
		(136 м ³ /ч)

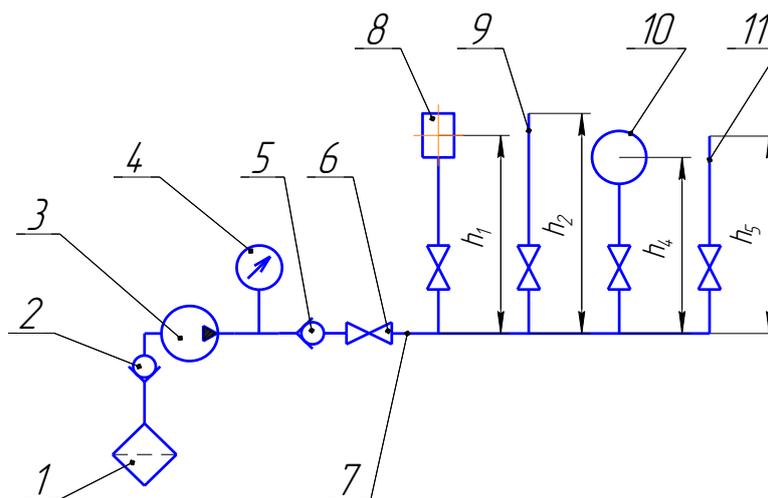


Рис. 1 - Расчётная схема разветвлённой гидравлической сети

- 1 - фильтр, 2 - обратный клапан, 3 - насос, 4 - манометр, 5 - обратный клапан,
6 - задвижка, 7 - нагнетательный трубопровод, 8 - дренчерная установка орошения
подшивной площадки, 9 - пожарный ствол внутреннего пожаротушения,
10 - дренчерная установка водяной завесы главного ствола,
11 - пожарный ствол внешнего пожаротушения

Согласно характеристике насоса ЦНС 180-90 при подаче $136 \text{ м}^3/\text{ч}$ напор насоса равен $92,5 \text{ м}$, что соответствует области оптимального режима работы насоса.

Список литературы.

1. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1991. – 331 с.: ил.
2. НПАОП 10.0-1.01-05 Правила безпеки у вугільних шахтах. Управління організації державного нагляду у вугільній промисловості департаменту державного гірничого нагляду Державного комітету України з нагляду за охороною праці, Департамент з надзвичайних ситуацій і охорони праці Міністерства палива та енергетики України на підставі постанови Кабінету Міністрів України від 18.02.2004 р. №186. К.: "Відлуння", 2005. – 398 с.
3. Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. Державний комітет України з нагляду за охороною праці, Міністерство палива та енергетики України на підставі постанови Кабінету Міністрів України від 06.07.2002 р. №939. Донецьк: АТ "Видавництво "Донеччина", 2003. – 416 с.: іл.