РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА ДЛЯ БОРЬБЫ С ПОДЗЕМНЫМИ ПОЖАРАМИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА

ДОНЕЦК - 1980

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР

Всесоюзный научно-исследовательский институт
горноспасательного дела

Утверждено
директором ВНИИГД
25 сентября 1980 г.

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И
по применению рациональных схем использования систем шахтного водоотлива для борьбы с подземными пожарами

Донецк 1980

В В Е Д Е Н И Е

В настоящее время в качестве источника пожарного и технологического водоснабжения шахт используют районные и городские водопроводы.

Но дефицит питьевой воды во многих угледобывающих районах страны обусловливает поиски новых источников пожарного и технологического водоснабжения. Мощным резервным источником водоснабжения угольных предприятий являются шахтные воды. В настоящее время более 85% шахт имеют часовой приток воды свыше 100 $м^3$. Поэтому потребность большинства шахт в воде для целей пожаротушения может быть удовлетворена за счет собственных водопритоков. Так как шахтные воды требуют очистки, в последние годы многие шахты строят очистные сооружения. Это дает возможность ставить на повестку дня вопрос о постепенном переходе к полному обеспечению угольных предприятий водой на производственные нужды за счет шахтных вод и использовании этих вод другими отраслями народного хозяйства.

В комплексе мероприятий по противопожарной защите шахт пожарное водоснабжение занимает ведущее место. Средствами пожаротушения, использующими воду из разветвленной сети шахтных водопроводов, оборудованы наиболее важные узлы и объекты подземных выработок.

Успешное тушение пожара зависит от достаточного количества воды в пожарно-оросительной системе.

В соответствии с § 202 "Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах" [I] разрешается (по согласованию с органами санитарного надзора) использовать для борьбы с пылью шахтную воду при условии ее очистки от механических примесей, устранения бактериологической загрязненности и нейтрализации.

При тушении затяжного пожара допускается использование воды без бактериологической очистки с обязательной промывкой и дезинфекцией линий совмещенного пожарно-оросительного трубопровода.

Особенность технологии подземной добычи угля и возможность возникновения пожара в горных выработках вызывают необходимость бесперебойной подачи воды в шахту для пылеподавления и тушения пожаров. Для этой цели система пожарно-оросительного водоснабжения должна иметь два независимых источника водоснабжения горных предприятий. В качестве второго источника могут быть использованы шахтные воды.

Однако отсутствие в проектных организациях научно обоснованных рекомендаций по использованию шахтных вод для тушения подземных пожаров не позволяет широко использовать системы шахтного водоотлива для пожарного водоснабжения.

В связи с этим во ВНИИГД разработаны Рекомендации по использованию шахтных вод для пожарно-оросительного водоснабжения.

В Рекомендациях приведены схемы использования систем шахтного водоотлива для пожарно-оросительного водоснабжения шахт, схемы очистки шахтных вод, гидравлические расчеты пожарно-оросительного трубопровода, пожарных насосных станций, расчет изменения режима их работы в процессе эксплуатации и расчеты гидроэлеваторов. Все предложенные схемы использования шахтных вод соответствуют требованиям Правил безопасности и других нормативных документов.

Рекомендации рассмотрены на секциях НТС Минуглепрома УССР, Донгипрошахта, Кузгипрошахта, ДонУГИ и НТС Днепрогипрошахта.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников шахт, проектных организаций, которые могут их использовать при реконструкции и проектировании угледобывающих предприятий.

Рекомендации разработали кандидаты техн.наук Н.С.Хмель, Г.В.Гринь, инж. Ю.В.Гаврин.

I. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНЫХ ВОД КАК ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В практике проектирования пожарно-оросительных трубопроводов используются типовые схемы водоснабжения, учитывающие специфику подачи воды в подземные выработки и удобство эксплуатации водопроводов в шахтах с различными горнотехническими условиями и системами разработки пластов угля.

Рациональным решением задачи водоснабжения шахты является создание объединенной сети пожарно-оросительных трубопроводов, обеспечивающих подачу воды из поверхностного резервуара по специальному водоподающему ставу в горные выработки для пылеподавления и борьбы с пожарами.

В качестве резерва водоподающего става используются трубопроводы шахтного водоотлива. Для переключения водоподающего става на водоотливный в районе околоствольного двора предусматривается специальное переключающее устройство, состоящее из ряда запорных вентилей (задвижек). На практике задвижки расположены на значительном удалении друг от друга. Поэтому создаются неудобства для быстрого и правильного переключения. Кроме того, часто не производится гидравлический расчет параметров совместной работы двух сетей, в результате чего при переключении происходят аварии в пожарно-оросительной сети.

Шахтные воды могут быть одним из основных источников подземного водоснабжения, так как количественно притоки шахтных вод большинства шахт угольных бассейнов страны удовлетворяют требуемым расходам шахтного водоснабжения.

Согласно Правилам безопасности [I] максимальный расход воды, необходимый на устройство водяной завесы (рассчитывается для выработки, закрепленной деревянной крепью, площадью поперечного сечения I2-I3 $м^2$ и при максимальной скорости вентиляционной струи более 5 м/с), равен приблизительно I00 $м^3$/ч. Кроме того, для непосредственного тушения пожара прибавляется расход воды 30 $м^3$/ч. Следовательно, суммарный расход воды на тушение пожара достигает I30 $м^3$/ч.

Расходы воды на технологические нужды в настоящее время достигают 100-150 м^3/ч. Таким образом, расходы воды на технологические и пожарные нужды - величины одного порядка. Следовательно, необходимые расходы воды для целей подземного водоснабжения шахт не превышают 150-200 м^3/ч.

Анализ полей водопритоков существующих и прогнозируемых (по материалам "Южгипрошахта") позволяет проследить динамику роста процентной доли шахт, имеющих приток воды свыше 100-200 м^3/ч (табл.I.I).

Таблица I.I

Группы водопритоков шахт, м^3/ч	Годы прогнозируемого периода					
	1975	1980	1985	1990	1995	2000
Свыше 100	78,8%	85,8%	90,1%	91,5%	94,3%	96,0%
Свыше 200	47,1%	56,9%	65,6%	68,5%	74,6%	76,2%

Таким образом, шахтные воды количественно могут являться источником водоснабжения большинства шахт.

Качество очищенных шахтных вод в соответствии с требованиями "Указаний по проектированию трубопроводов, прокладываемых в подземных выработках угольных и сланцевых шахт", должно удовлетворять п.106 "Санитарных правил по содержанию шахт угольной и сланцевой промышленности".

Согласно ГОСТ 2874-73 "Вода питьевая" количество химических веществ и других примесей в питьевой воде не должно превышать норм, указанных в табл.I.2.

Шахтные воды, как правило, по качеству не удовлетворяют нормам питьевой воды и зачастую не могут быть использованы без специальной обработки не только для питьевых, но и для технических целей. Поэтому использование шахтных вод без их предварительной очистки для нужд пожарно-оросительного водоснабжения не представляется возможным.

Методы очистки шахтных вод обусловливаются их физико-химическими и технологическими свойствами, а также климатическими условиями угольных месторождений. В отечественной и зарубежной практике применяются механическая (безреагентная) очистка шахтных вод, физико-химическая, химическая (реагентная), электрохимическая и другие. Наибольшее распространение получили безреагентная и реагентная очистки [8].

Таблица I.2

№ пп	Наименование показателей	Норма	Единица измерения
I.	Запах воды при 20°С и при нагревании до 60°С, не более	2	балл
2.	Привкус при 20°С, не более	2	"
3.	Цветность, не более	20	градус
4.	Мутность, не более	I,5	мг/л
5.	Сухой остаток	I000	"
6.	Хлориды (Cl^-)	350	"
7.	Сульфаты (SO_4^{--})	500	"
8.	Железо (Fe^{2+3+})	0,3	"
9.	Марганец (Mn^{2+})	0,I	"
I0.	Медь (Cu^{2+})	I,0	"
II.	Цинк (Zn^{2+})	5,0	"
I2.	Остаточный алюминий (Al^{3+})	0,5	"
I3.	Гексаметофосфат	3,5	"
I4.	Триполифосфат (PO_4)	3,5	"
I5.	Общая жесткость	7	(мг·экв)/л
I6.	Водородный показатель (pH)	6,5-8,5	-
I7.	Общее количество бактерий в I мл воды, не более	I00	шт.
I8.	Коли-титр кишечной палочки, не менее	300	$см^3$

Сооружения по очистке шахтных вод могут располагаться как на поверхности, так и под землей в специально оборудованных камерах. Выбор места их расположения в основном зависит от величины водопритока, а также глубины расположения главного водоотлива. Однако в каждом случае требуется проведение технико-экономического обоснования такого выбора.

Технологические схемы очистки шахтных вод, получившие распространение на шахтах, имеют некоторые недостатки, поэтому они продолжают совершенствоваться. Но уже существующие технологические схемы позволяют очищать любые объемы шахтных вод до норм, требуемых для их использования в шахте. Методы очистки выбираются в зависимости от свойств исходной шахтной воды и требований, предъявляемых к качеству очищенной воды.

Однако параметры установок по очистке шахтных вод не увязаны с параметрами всего комплекса водоснабжения шахты. Не разработаны схемы подключения очищенной шахтной воды к пожарно-оросительной сети, учитывающие требования пожарного водоснабжения.

Существующая система шахтного водоотлива также не может быть включена в единый комплекс водоснабжения шахты, так как насосы шахтного водоотлива рассчитаны на большие подачи и высокие напоры. Для решения задачи использования систем шахтного водоотлива необходимо проведение расчетов совместной работы насосов шахтного водоотлива в качестве пожарных и пожарно-оросительной сети шахты с учетом требований последней к напору и расходу. Отсутствие расчетов совместной работы насосов шахтного водоотлива и пожарно-оросительной сети часто приводило к авариям в одной из систем.

Поэтому необходим расчет всей системы водоснабжения в комплексе, то есть пожарно-оросительной сети шахты, системы шахтного водоотлива и очистных сооружений.

Рациональные схемы использования систем шахтного водоотлива для борьбы с подземными пожарами связаны с функционированием шахтного водоотлива и очистных сооружений. Наличие значительного разнообразия технологических схем очистки шахтных вод и схем шахтного водоотлива дает возможность производить выбор рациональной схемы использования шахтных вод. Выбор таких схем зависит не только от качества исходных шахтных вод, требований потребителей к качеству очищенной воды и параметров принятой схемы шахтного водоотлива, но и от места расположения очистных сооружений.

Эксплуатация сооружений по очистке шахтных вод может приносить экономическую выгоду как непосредственно самим шахтам, так и народному хозяйству в целом. Экономическая эффективность тем выше, чем больше срок существования шахты. Время отработки запасов угля должно быть больше, чем время, необходимое для проектирования и строительства очистного сооружения. Кроме того, построенное сооружение к моменту отработки запасов угля должно окупиться экономией от задержек производства, связанных с использованием на производственные нужды очищенной и обезвреженной шахтной воды, а также снижением ущерба, наносимого народному хозяйству путем прекращения сброса неочищенных шахтных вод в водоемы.

В общем виде условием, определяющим экономическую эффективность строительства очистного сооружения на шахте, является соблюдение

неравенства [6]

$$t_{оз} \geq t_п + t_с + t_{ок} \quad , \qquad (I.I)$$

где $t_{оз}$ - время отработки промышленных запасов угля на шахте, лет;

$t_п$ - продолжительность проектирования очистного сооружения, лет;

$t_с$ - продолжительность строительства очистного сооружения, лет;

$t_{ок}$ - срок окупаемости капиталовложений в строительство сооружений по очистке шахтных вод, лет.

Срок окупаемости капиталовложений в строительство очистных сооружений $t_{ок}$ определяется по формуле

$$t_{ок} = К/Э \quad , \qquad (I.2)$$

где $К$ - капиталовложения в строительство очистных сооружений, тыс.руб.;

$Э$ - годовой экономический эффект, получаемый народным хозяйством от прекращения сброса загрязненных шахтных вод и от замены питьевой воды шахтной, тыс.руб.

Данные о сроках проектирования и строительства, принятые по соответствующим строительным нормам, а также сроках окупаемости капиталовложений в зависимости от производительности очистного сооружения сведены в табл.I.3 [6].

Таблица I.3

Производительность очистного сооружения		Продолжительность, лет		Срок окупаемости капиталовложений, лет	Всего, лет
часовая, $м^3$	годовая, млн.$м^3$	проектирования	строительства		
До 200	I,752	0,8	I	7	8,8
20I-300	2,628	0,8	I,3	4,6	6,7
30I-500	4,38	0,8	I,3	3,6	5,7
Свыше 500	Свыше 4,38	0,9	I,3	3,I	5,3

Экономический эффект от очистки шахтных вод $Э$ выражается суммой годовой экономии от использования очищенной шахтной воды на производственные нужды и годовой величины снижения ущерба от прекращения сброса неочищенной шахтной воды [6]

$$Э = Э_{исп} + Э_{нх} . \qquad (I.3)$$

Здесь $$Э_{нх} = Q_{оч}[a_{су} - (C_{оч} + EK_{оч})], \qquad (I.4)$$

где $Э_{нх}$ – экономический эффект, получаемый народным хозяйством от прекращения сброса загрязненных шахтных вод, тыс.руб.;

$Q_{оч}$ – годовой объем очищенных шахтных вод, тыс.м^3;

$a_{су}$ – удельная величина снижения народнохозяйственного ущерба от прекращения сброса загрязненных сточных вод, руб./м^3 (определена Харьковоким отделом водного хозяйства ВНИИВОДГЕО с участием ПермНИИ и составляет в среднем для отрасли 0,075 руб./м^3);

$C_{оч}$ – себестоимость очистки I м^3 шахтной воды, руб.;

E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений согласно [7] принимается 0,I5;

$K_{оч}$ – удельные капиталовложения на I м^3 годовой производительности очистного сооружения, руб.

Экономический эффект, получаемый шахтой от использования очищенной шахтной воды вместо воды питьевого качества, определяется по формуле

$$Э_{исп} = Q_{исп}[Ц - (C_{оч} + EK_{оч})] \pm Э_{п} , \qquad (I.5)$$

где $Э_{исп}$ – экономический эффект, получаемый предприятием от потребления взамен питьевой воды очищенной шахтной, тыс.руб.;

$Q_{исп}$ – годовой объем используемой очищенной воды взамен питьевой, тыс.м^3;

$Ц$ – цена I м^3 питьевой воды, руб.;

$Э_{п}$ – годовой экономический эффект или ущерб от реализации или захоронения продуктов, получаемых при очистке шахтных вод.

Оптимальный вариант окончательного проектного решения определяется путем технико-экономического сопоставления различных вариантов при условии равноценного эффекта очистки воды при одинаковой производительности сооружений.

Выбор места расположения очистных сооружений в основном зависит от величины водопритока, а также глубины расположения главного водоотлива. По мере снижения водопритока и увеличения глубины разработки пластов стоимость откачки воды быстро возрастает. Сооружения для очистки шахтных вод с целью их дальнейшего использования для пылеподавления и пожаротушения можно располагать непосредственно в шахте, если водоприток не намного превышает или равен объему воды, необходимому для комплексного обеспыливания. В некоторых случаях полностью исключается необходимость подъема воды на дневную поверхность, тем более, что в перспективе на многих шахтах страны намечается разработка пластов, расположенных на глубине 800-1200 м. Подъем шахтных вод на поверхность с таких глубин при водопритоках 50-70 м^3/ч нецелесообразен по экономическим соображениям [8]. Однако выбор схемы очистки шахтных вод должен обосновываться строгим экономическим критерием.

В качестве критерия используем разность экономических эффектов от очистки шахтных вод на поверхностных и подземных очистных сооружениях

$$Э_{пов} - Э_{пов} = (Э_{нх} + Э_{исп})_{пов} - (Э_{нх} + Э_{исп} + Э_{кос})_{пов} = (Q - Q_{исп})[(C^{п}_{оч} - C_{оч}) + E(K^{п}_{оч} - K_{оч}) - Э_{кос}, \qquad (I.6)$$

где Q – приток шахтной воды, м^3;

$C^{п}_{оч}$ – себестоимость очистки I м^3 шахтной воды подземной очистной установкой;

$K^{п}_{оч}$ – удельные капиталовложения на I м^3 годовой производительности подземного очистного сооружения;

$Э_{кос}$ – дополнительный эффект от экономии электроэнергии водоотливными установками в руб. [9];

$$Э_{кос} = c\frac{0{,}00273}{\eta\,\eta_{дв}\,\eta_{т}\,\eta_{с}} \cdot 1{,}1\,H_{г}\,Q_{исп}, \qquad (I.7)$$

где c – стоимость I кВт/ч электроэнергии;

$\eta, \eta_{дв}, \eta_{т}, \eta_{с}$ – к.п.д. соответственно насоса, двигателя, передачи, сети;

$H_{г}$ – геодезический напор, м.

Если разность экономического эффекта (I.6) больше нуля, то более экономична поверхностная схема очистки шахтных вод.

Следовательно, из (I.6) после преобразования получаем

$$\frac{Q}{Q_{исп}} > 1 + \frac{B}{A} H_r , \qquad (I.8)$$

где $A = [(C^{п}_{оч} - C_{оч}) + E(K^{п}_{оч} - K_{оч})]$;

$$B = C \cdot 1{,}1 \cdot \frac{0{,}00273}{\eta \eta_{дв} \eta_т \eta_с} .$$

Критерий выбора (I.8) говорит о том, что поверхностная очистка шахтной воды будет более экономична, если отношение водопритока шахты к объему используемой воды превышает выражение правой части неравенства. Правая часть возрастает с глубиной расположения очистных сооружений и убывает от величин более высоких себестоимости очистки воды и удельных капиталовложений на строительство очистных сооружений в подземных условиях, а также зависит от величины нормативного коэффициента эффективности капиталовложений отрасли, стоимости I кВт/ч электроэнергии и коэффициентов полезного действия узлов водоотливной установки.

Данные о себестоимости очистки I м^3 воды и удельных капитальных затратах на I м^3 годовой производительности различных очистных установок в зависимости от производительности [5,8] приведены в табл.I.4.

Таким образом, для выбора места расположения очистных сооружений необходимы следующие исходные данные: величина водопритока, объем используемой очищенной воды, высота водоподъема, стоимость I кВт.ч электроэнергии, коэффициенты полезного действия водоотливной установки, себестоимость очистки I м^3 воды и удельные капитальные затраты для поверхностного и подземного вариантов. Вычисляются коэффициенты A и B неравенства (I.8) и проверяется выполнение критерия выбора, т.е. неравенства (I.8). Если неравенство выполняется, выбирается поверхностная схема очистки, если не выполняется, то более экономичным будет подземный вариант.

Пример выбора места расположения очистного сооружения дан в приложении I.

Таблица I.4

№ пп	Схема очистной установки	Бассейн, шахта	Проектирующая организация	Производительность, $м^3/ч$	Остаточное содержание взвеси, мг/л	Себестоимость очистки I $м^3$ воды, коп/$м^3$	Удельные капитальные затраты на I $м^3$ годовой производительности, руб/$м^3$
I.	Схема отстаивания в пруде-отстойнике и фильтрования на скорых фильтрах	Кузнецкий "Распадская"	Сибгипрошахт	I3I0	I0	I,6	0,094
		Кузнецкий "Капитальная"	Сибгипрошахт	300	I0	I,5	0,060
		Донецкий "Молодогвардейская"	Южгипрошахт	200	30	2,8	0,I6
2.	Схема отстаивания в горизонтальном отстойнике с реагентной обработкой и фильтрованием на скорых фильтрах	Кузнецкий Им.Кирова	Сибгипрошахт Кузбассгипрошахт	400	20	2,5	0,078
		Кузнецкий Им.Волкова	Сибгипрошахт Кузбассгипрошахт	50	23	I,4	0,034
		Донецкий № 22 им.Кирова	Ворошиловградпроект	I20	2	I.9	0,I3

Продолжение табл.I.4

№ пп	Схема очистной установки	Бассейн, шахта	Проектирующая организация	Производительность, $м^3/ч$	Остаточное содержание взвеси, мг/л	Себестоимость очистки I $м^3$ воды, коп/$м^3$	Удельные капитальные затраты на I $м^3$ годовой производительности, руб/$м^3$
3.	Схема отстаивания в вертикальных отстойниках с реагентной обработкой и фильтрованием на скорых фильтрах	Шахты Донецкого и Карагандинского бассейнов	Центротяжпромпроект	25	до 50	6,4	0,I5
				50	до 2–3	3,6	0,I0
				75	до 2–3	3,2	0,II
				I00	до 50	2,7	0,I0
				I50	до 2–3	–	–
		Донецкий "Комиссаровская"		25	5	5,I	0,24
		"Никанор"		50	5	4,2	0,25
		"Волынская"		50	I2	4,0	0,I2
		"Индустрия"		I00	II	8,0	I,25
		Карагандинский "Казахстанская"		I50	2	6,I	0,24
4.	Схема отстаивания в наклонных отстойниках с реагентной обработкой и фильтрованием на напорных фильтрах	Донецкий Ш/у им.газеты "Правда"	Донецкая проектная контора Минуглепрома УССР	I50	2–3	2,8	0,I7
5.	Схема отстаивания в отстойнике-регуляторе и фильтрования на контактных осветлителях	Кузнецкий им.Димитрова	Кузбасгипрошахт	330	2	6,5	0,20
		Кузнецкий "Северная"	Кузбасгипрошахт	330	2–3	7,0	0,26

Продолжение табл.I.4

№ пп	Схема очистной установки	Бассейн, шахта	Проектирующая организация	Производительность, $м^3/ч$	Остаточное содержание взвеси, мг/л	Себестоимость очистки I $м^3$ воды, коп/$м^3$	Удельные капитальные затраты на I $м^3$ годовой производительности, руб/$м^3$
6.	Схема отстаивания в первичном отстойнике и фильтрования на напорных фильтрах (подземный вариант)	Шахты Донецкого, Карагандинского и Челябинского бассейнов	Юггипрошахт	I0 20 20 30 40	2-3 2-3 2-3 2-3 2-3	35-3I I9-I7 I8-I6 I4-I2 II-9	2,02-I,72 I,I5-0,98 I,04-0,92 0,80-0,70 0,67-0,57
7.	Схема нейтрализации и очистки кислых шахтных вод	Донецкий Шахта № I53 п/о "Донбассантрацит"	Краснолучская проектная контора Минуглепрома УССР	300	I0	-	0,I6

2. СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Все возможные схемы использования шахтных вод для тушения подземных пожаров можно разделить на две группы: с очисткой шахтных вод и без очистки. Схемы с очисткой могут применяться как в аварийной обстановке при тушении пожара, так и при нормальной работе шахты для технологических целей. Схемы с очисткой делятся на очистку нейтральных и кислых вод. Очистка нейтральных вод может производиться как на поверхности, так и в подземных условиях. Схемы без очистки применяются только в аварийной ситуации при отключении электроэнергии в шахте и остановке очистных устройств. При этом шахтная вода подается из водосборника при помощи гидроэлеватора.

2.I. Схема использования шахтных вод с очисткой на поверхности

Схема использования шахтных вод с очисткой на поверхности показана на рис.2.I. Из шахтного водосборника 9 вода насосами главного водоотлива по водоотливному ставу 6 подается в уоредни-тель (резервную емкость) I, который должен обеспечить бесперебойную работу очистной установки. Очистка шахтной воды от механических и бактериологических примесей до санитарных норм осуществляется в очистной установке 2, которая обеспечивает подачу воды в пожарно-оросительный став 5 как для технологических целей, так и для пожарного водоснабжения.

Шахтная вода из очистной установки пополняет запас воды пожарного водоема 3, обеспечивая одновременную подачу воды на технологические нужды.

Установки по очистке шахтных вод должны проектироваться с таким расчетом, чтобы полностью очищать весь приток шахтных вод с целью предотвращения загрязнения водоемов [4]. При этом производительность очистной установки в схеме использования должна обеспечивать половину расхода воды на пожаротушение и расход на технологические нужды.

В схеме предусматривается переход в аварийных ситуациях на схему без очистки, который осуществляется при помощи задвижек II.

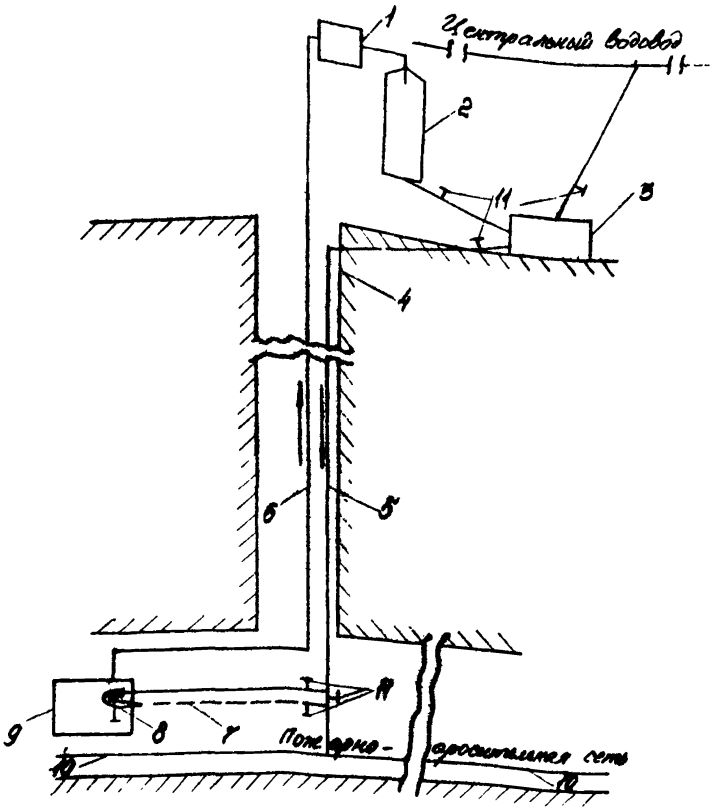


Рис.2.I. Схема использования шахтной воды с очисткой на поверхности:

I - усреднитель; 2 - установка по очистке шахтной воды; 3 - пожарный водоем; 4 - клетевой ствол; 5 - пожарно-оросительный став; 6 - водоотливный став; 7 - воздушный разрыв; 8 - гидроэлеватор; 9 - шахтный водосборник; I0 - пожарно-оросительная сеть; II - задвижки

При использовании шахтных вод с очисткой на поверхности могут быть рекомендованы следующие три схемы очистки.

Первая схема очистки шахтных вод в прудах-отстойниках с фильтрованием на скорых фильтрах предназначена для очистки шахтной воды с целью использования в производственном водоснабжении шахты и сброса избытка очищенной воды в гидрографическую сеть. Достоинством этой схемы очистки является то, что общее содержание взвешенных веществ в исходной воде не ограничивается [5], а содержание взвешенных веществ в очищенной воде не превышает I0 мг/л, бактериологические показатели очищенной воды соответствуют требованиям ГОСТ 2874-73 "Вода питьевая", производительность очистных сооружений не ограничивается. Схема применяется с открытыми и напорными фильтрами. Процесс очистки шахтной воды осуществляется по технологии, изложенной в Технологических схемах очистки шахтных вод [5].

Вторая схема отстаивания в горизонтальном отстойнике с реагентной обработкой и фильтрованием на скорых фильтрах предназначена для очистки шахтной воды с целью использования в производственном водоснабжении шахты и сброса в гидрографическую сеть [5]. Общее содержание взвешенных веществ и содержание тонкодисперсных фракций в исходной шахтной воде не ограничивается. Содержание взвешенных веществ в воде, подаваемой на скорые фильтры, не более 50 мг/л, в очищенной воде содержание взвешенных веществ не превышает I0 мг/л. Бактериологические показатели очищенной воды соответствуют требованиям ГОСТ 2874-73 "Вода питьевая". Рекомендуемая производительность очистных сооружений - не менее 300 $м^3$/ч. Схема очистки шахтной воды может применяться в двух вариантах: с открытыми и напорными фильтрами.

Третья схема очистки шахтной воды с отстаиванием в наклонных отстойниках, изложенная в литературе [5], предназначена для очистки и использования воды в производственном водоснабжении шахты и сброса в гидрографическую сеть. Общее содержание взвешенных веществ в исходной воде не ограничивается, содержание частиц гидравлической крупностью менее 0,2 мм/с - не более 50 мг/л. Содержание взвешенных веществ в очищенной воде не превышает I0 мг/л. Бактериологические показатели очищенной воды соответствуют требованиям ГОСТ 2874-73 "Вода питьевая". Рекомендуемая производительность очистных сооружений - не более 300 $м^3$/ч.

2.2. Схема использования шахтных вод с очисткой в подземных условиях

Схема использования шахтных вод с очисткой в подземных условиях показана на рис.2.2. Из шахтного водосборника 7 вода специальным насосом подается на очистную установку 8, которая очищает шахтную воду от механических и бактериологических примесей до санитарных норм. Производительность очистной установки должна обеспечивать половину расчетного расхода воды на тушение подземного пожара, но не должна быть менее 40 $м^3$/ч. Очищенная вода поступает в резервуар очищенной воды 9, откуда насосами пожарной подземной насосной станции подается в пожарно-оросительную сеть I0. Объем резервуара очищенной воды должен определяться из расчета подачи воды на пожаротушение в течение 3 ч. Производительность насосов подземной пожарной насосной станции должна обеспечивать расчетный расход воды на тушение пожара и технологические нужды.

Схема очистки шахтных вод в подземных условиях разработана п/о "Ростовуголь" и рекомендована Минуглепромом СССР для внедрения на всех шахтах.

Схема очистки шахтной воды в подземных условиях основана на отстаивании в первичном отстойнике и фильтровании на напорных фильтрах части шахтного притока в объеме, необходимом для использования в подземном водоснабжении шахты. Общее содержание взвешенных веществ в исходной воде - не более 50 мг/л. Содержание взвешенных веществ в очищенной воде не превышает I0 мг/л. Бактериологические показатели очищенной воды соответствуют требованиям ГОСТ 2874-73 "Вода питьевая". Рекомендуемая производительность установки - не более 40 $м^3$/ч. Однако на шахтах "Мушкетовская" п/о "Донецкуголь", ш/у "Бутовское" п/о "Макеевуголь" производительность подземных установок (при I2-I3 фильтрах производительностью 5,6 $м^3$/ч каждый) достигает около 70 $м^3$/ч.

Схема рекомендуется к применению на действующих шахтах, испытывающих дефицит питьевой и технической воды.

Технология очистки шахтных вод изложена в литературе [5,I0].

Для подачи очищенной шахтной воды в пожарно-оросительную сеть служит подземная пожарная насосная станция. Напор и расход, создаваемые насосами в пожарно-оросительной сети, должны соответствовать требованиям "Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах" [I].

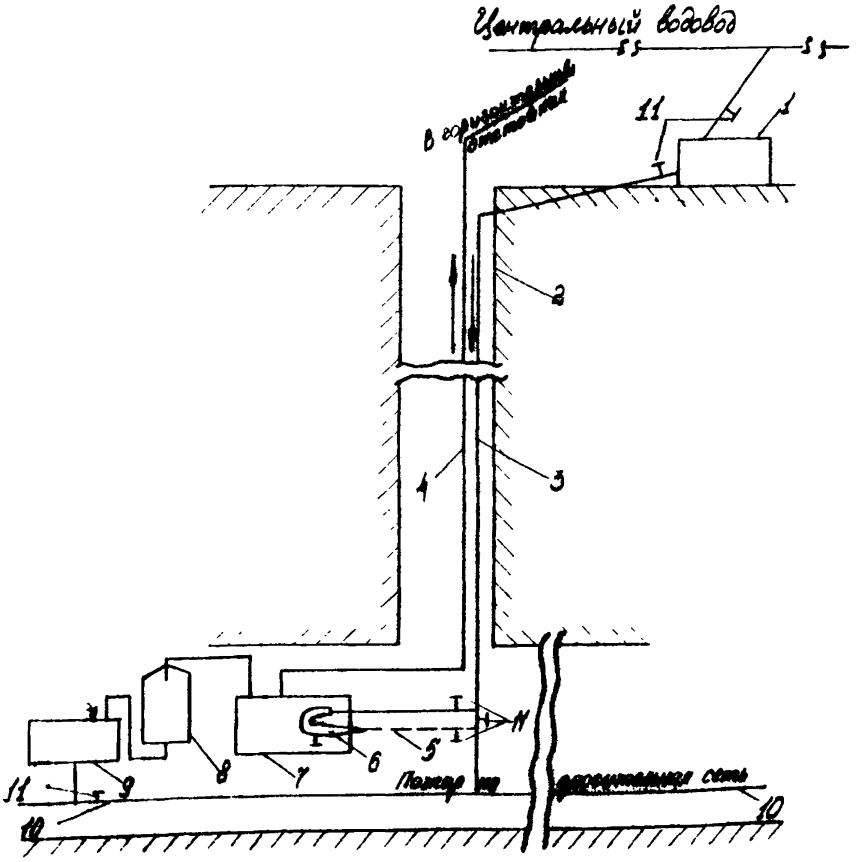


Рис.2.2. Схема использования шахтных вод с очисткой в подземных условиях:
I-пожарный водоем; 2-клетевой ствол; 3-пожарно-оросительный став; 4-водоотливный став; 5-воздушный разрыв; 6-гидроэлеватор; 7-шахтный водосборник; 8-установка по очистке шахтной воды в подземных условиях; 9-резервуар очищенной воды; IO-пожарно-оросительная сеть; II-задвижки

Производительность пожарных насосов должна соответствовать расчетному расходу воды на подземное пожаротушение, но быть не меньше 80 $м^3$/ч. Расход воды на тушение подземного пожара рассчитывается из условия одного пожара в шахте [I].

Гидравлическая схема пожарной насосной станции представлена на рис.2.3.

Основным элементом пожарной насосной станции является насос 3 с присоединенными к нему подводящим 2 и напорным 4 трубопроводами. В начале подводящего трубопровода установлен приемный клапан I и на напорном трубопроводе - задвижка 5 и обратный клапан 6. Напорным трубопроводом 4 насосная станция соединяется с пожарно-оросительным трубопроводом. Для контроля работы пожарная насосная станция оборудуется вакуумметром, установленным на входном патрубке насоса, манометром - на напорном патрубке и расходомером.

Подземная пожарная насосная станция должна быть обеспечена резервным электропитанием от главной поверхностной подстанции (ГПП).

Пожарно-оросительный трубопровод со стороны пожарно-оросительного ствола и напорный трубопровод подземной пожарной насосной станции в месте соединения должны оборудоваться запорными задвижками. Перед пуском в работу подземной пожарной насосной станции запорная задвижка на пожарно-оросительной магистрали должна быть закрыта. При отключении подземной пожарной насосной станции и подаче воды в пожарно-оросительный трубопровод с поверхности задвижка на напорном трубопроводе подземной пожарной насосной станции должна закрываться, а на пожарно-оросительной магистрали - открываться.

Расчет и выбор основного оборудования подземной пожарной насосной станции приведен в разделе 3.

2.3. Схема использования кислых шахтных вод для пожарно-оросительного водоснабжения шахт

Схема использования кислых шахтных вод показана на рис.2.4. Очистка кислых шахтных вод осуществляется по схеме, предложенной ДонУПИ, которая включает в себя нейтрализацию вод в подземных ус-

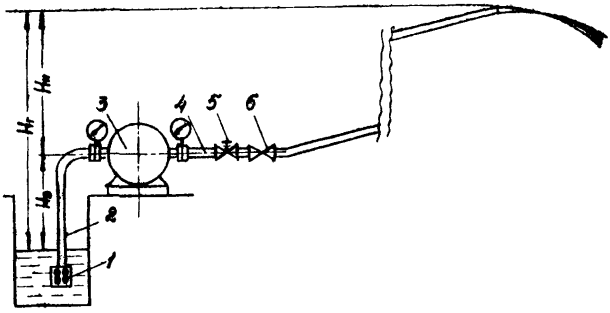


Рис.2.3. Гидравлическая схема пожарной насосной станции:
1-приемный клапан; 2-подводящий трубопровод;
3-насос; 4-напорный трубопровод; 5-задвижка;
6-обратный клапан

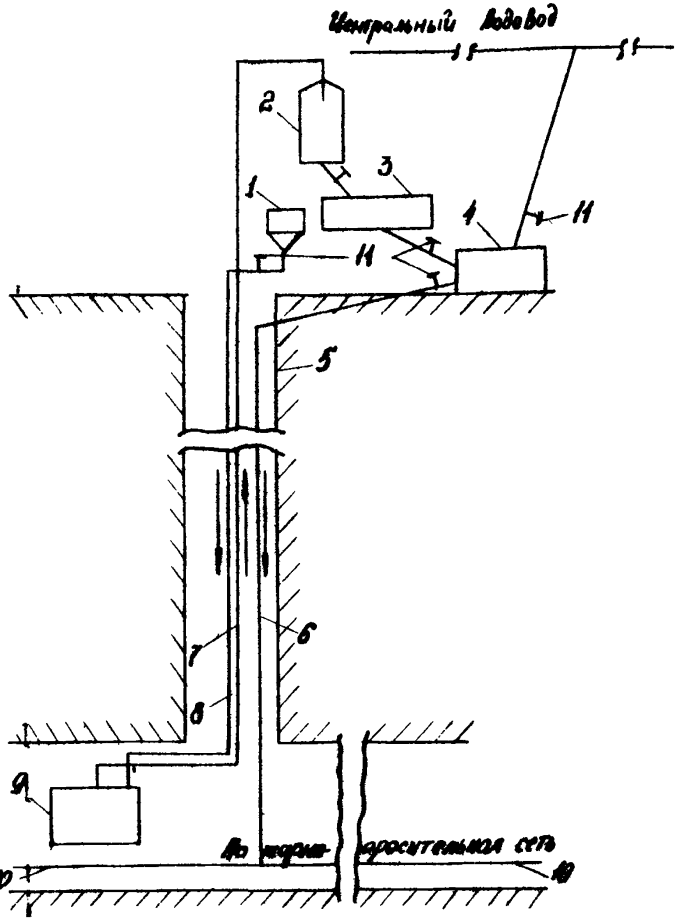


Рис.2.4. Схема использования кислых шахтных вод для пожарно-оросительного водоснабжения:

I-установка для приготовления известкового молока; 2-установка по очистке нейтрализованной шахтной воды; 3-пруд-осветлитель; 4-пожарный водоем; 5-клетевой ствол; 6-пожарно-оросительный став; 7-водоотливный став; 8-трубопровод известкового молока; 9-шахтный водосборник; IO-пожарно-оросительная сеть; II-задвижки

ловиях с дальнейшей очисткой и обеззараживанием на поверхности.

Известковое молоко готовится в установке I, откуда по трубопроводу 8 поступает в шахтный водосборник 9 и перемешивается с шахтной водой специальным насосом. Насосы главного водоотлива нейтрализованную воду подают по водоотливному ставу 7 в очистную установку 2, где происходит очистка шахтной воды от механических примесей. Осветленная вода после обеззараживания жидким хлором сбрасывается в пруд-осветлитель 3, из которого поступает в пожарный водоем 4, а затем по пожарно-оросительному ставу 6 - в пожарно-оросительную сеть I0.

Производительность установки по нейтрализации шахтной воды должна рассчитываться на очистку всего шахтного притока. Избыток очищенной и обеззараженной шахтной воды из пруда-осветлителя 3 должен сбрасываться в гидрографическую сеть.

Регулирование подачи очищенной воды в пожарный водоем 4 осуществляется задвижками. Из пожарного водоема вода поступает по пожарному ставу 6 в пожарно-оросительную сеть I0.

Схема очистки кислых шахтных вод [20,24] предусматривает нейтрализацию воды известковым молоком в приемном колодце насосов главного водоотлива.

Осветленную воду после хлорирования подают пожарными насосами в пожарный водоем или пожарно-оросительную сеть.

Промышленные испытания и опыт эксплуатации установки подтвердили надежность и эффективность нейтрализации, очистки и обеззараживания кислых шахтных вод [20]. Однако при проектировании аналогичных установок следует упростить блок очистки воды, т.е. исключить песколовки, а вместо камер хлопьеобразования и отстойников с наклонными плоскостями, изготовленных из металла, предусмотреть железобетонные отстойники, совмещенные с камерой хлопьеобразования.

Технический проект таких отстойников разработан Донецкой проектной конторой Минуглепрома УССР.

Время пребывания воды в этих отстойниках - не менее 2 часов. Для ускорения процесса осветления воды необходимо применять коагулянты.

Для использования нейтрализованной, очищенной и обеззараженной шахтной воды для производственного и пожарного водоснабжения на поверхности устраивается насосная станция, которая отбирает

из пруда воду и подает ее в пожарный водоем или в пожарный трубопровод, расположенный в клетевом стволе. Параметры насосной станции выбираются из расчетного расхода воды на тушение подземного пожара, но производительностью не менее 80 м^3/ч [I]. Трубопровод, соединяющий насосную станцию с пожарным водоемом или трубопроводом, расположенным в клетевом стволе, должен быть утеплен, оборудован запорной арматурой и измерительными приборами.

2.4. Схема использования шахтных вод с применением гидроэлеваторов

Схема использования шахтной воды с применением гидроэлеваторов (рис.2.5) разработана ВНИИГД и испытана в условиях опытного полигона института. Достоинство этой схемы состоит в том, что при отключении электроэнергии в шахте отбор воды осуществляется гидроэлеватором непосредственно из шахтного водосборника. Это имеет особо важное значение тогда, когда на поверхности шахты имеются ограниченные запасы воды для тушения подземного пожара. Исследованиями и расчетами установлено, что подача воды на тушение подземного пожара может составлять 50%, а остальные 50% воды можно отбирать гидроэлеватором из шахтного водосборника.

Недостатком схемы является то, что на тушение подземного пожара используется часть неочищенной шахтной воды и после тушения пожара необходимо делать промывку и дезинфекцию линий совмещенного пожарно-оросительного трубопровода. Рабочим органом схемы является гидроэлеватор 6 с присоединенными к нему напорным I, всасывающим 7 и нагнетательным 5 трубопроводами.

В схеме необходимо предусматривать не менее двух гидроэлеваторов (один резервный). Для контроля работы гидроэлеваторов необходимо использовать манометры 4, для регулирования подачи воды - задвижки 3, обводную трубу, снабженную задвижкой 2.

Гидроэлеваторы устанавливаются непосредственно в насосной камере с таким расчетом, чтобы была возможность всасывающий трубопровод 7 опустить в шахтный водосборник.

Выходные параметры (расход, напор) гидроэлеваторов должны соответствовать требованиям нормативных документов [I] на тушение подземного пожара (расчетный расход воды на тушение пожара должен быть не менее 80 м^3/ч, напор - не менее 60 м во всех точках водоразбора пожарно-оросительного трубопровода).

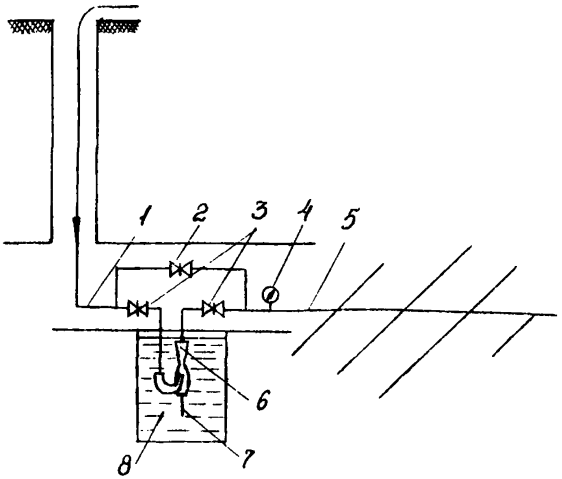


Рис.2.5. Схема использования шахтных вод без очистки с применением гидроэлеватора:
1-напорный трубопровод; 2,3-задвижки;
4-контрольный манометр; 5-магистральный трубопровод пожарно-оросительной сети; 6-гидроэлеватор; 7 - всасывающий трубопровод;
8-водосборник

Гидроэлеваторы должны питаться водой от поверхностного пожарного водоема или подземной пожарной насосной станции, которая обеспечит требуемые по расчету напор и расход.

Режим работы гидроэлеватора должен соответствовать максимальному или близкому к нему значению к.п.д.

Достоинство схемы с применением гидроэлеваторов заключается в отсутствии редукционных устройств, снижающих геометрический напор воды. Гидроэнергия играет положительную роль в улучшении выходных параметров гидроэлеватора для тушения пожара. Роль регулятора давления играет сам гидроэлеватор, в котором происходит смешивание потоков, подаваемых на пожаротушение с поверхности и из подземного водосборника. В пожарно-оросительный трубопровод поступает смешанный поток, поэтому высокий напор на входе в гидроэлеватор значительно ослабевает на выходе из него.

Как уже указывалось выше, переход на схему использования шахтных вод без очистки осуществляется в аварийных ситуациях. Так, в схеме с очисткой шахтных вод на поверхности (рис.2.I) при прекращении работы очистной установки вода подается из пожарного водоема 3 в гидроэлеватор 8, который за счет эжекции осуществляет отбор воды из шахтного водосборника 9 и подает ее в пожарно-оросительную сеть I0.

Аналогично в схеме использования шахтных вод с очисткой в подземных условиях (рис.2.2) в аварийной ситуации при отключении электроэнергии в шахте и остановке очистных устройств подачу воды в пожарно-оросительную сеть для тушения подземного пожара осуществляет гидроэлеватор 6, вода в который подается по пожарно-оросительному ставу 3 из пожарного водоема I, расположенного на поверхности. Перед включением гидроэлеватора в работу ликвидируется воздушный разрыв 5, регулирование подачи воды производится с помощью задвижек II.

При выборе гидроэлеватора для конкретной схемы необходимо знать оптимальные соотношения параметров гидроэлеватора. Установлено, что напор, развиваемый гидроэлеватором, тем больше, чем больше скорость истечения рабочей жидкости из сопла и чем меньше отношение сечений горловины и сопла. Схема гидроэлеватора с высоким к.п.д., применяемого для шахтной воды, приведена на рис.2.6.

Исследования характеристик и расчет параметров гидроэлеваторов изложены в разделе 3.

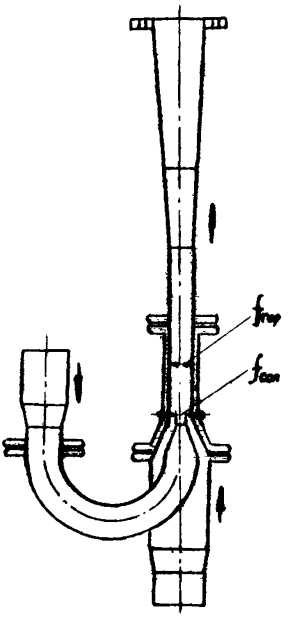


Рис.2.6. Конструктивная схема гидроэлеватора
с высоким к.п.д. для шахтной воды

Предложенная схема с гидроэлеватором является наиболее экономичной по сравнению с другими схемами использования систем шахтного водоотлива для тушения подземного пожара, так как на изготовление гидроэлеваторов расходуется чрезвычайно мало металла, стоимость гидроэлеваторов незначительна, они безотказны в работе. Габариты гидроэлеваторов настолько малы, что они по существу не занимают площади в подземной камере шахтного водосборника.

В состав рациональной схемы с гидроэлеватором входит насосная станция (или пожарный водоем на поверхности), напорный и всасывающий трубопроводы, запорная арматура и измерительные приборы. Наименование оборудования, применяемого при использовании шахтных вод, с указанием разработчика и завода-изготовителя дано в приложении 5.

3. РАСЧЕТ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА К ПОЖАРНО-ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

3.1. Основные требования к подземным насосным станциям пожарно-оросительного водоснабжения

В схеме использования шахтных вод с очисткой в подземных условиях подачу очищенной воды на пожаротушение необходимо осуществлять насосами подземной пожарной насосной станции. Рекомендуется использовать насосную станцию и для подачи воды на технологические нужды. При этом напор и расход в пожарно-оросительной сети должны соответствовать требованиям "Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах" [1].

Для расчета подземной пожарной насосной станции и пожарно-оросительного трубопровода необходимы следующие исходные данные:

расчетная величина расхода воды на пожаротушение, удовлетворяющая нормативным требованиям, т.е. $Q \geq 80$ м^3/ч;

допустимый нормативный напор в пожарно-оросительном трубопроводе при нормируемом расходе воды, т.е. $H = 60$–150 м, в наклонных выработках (бремсбергах, уклонах) допускается напор до 200 м;

физико-химическая характеристика очищенной шахтной воды, которая используется для правильного выбора оборудования;

суммарная длина участков пожарного трубопровода;

сумма гидравлических сопротивлений в подводящем и пожарно-оросительном трубопроводе.

Для определения типа насоса необходимо на график рабочих зон характеристик насосов (рис.П.2.I) [II]нанести точку с координатами (Q,H), соответствующую расчетному расходу воды и напору в пожарно-оросительной сети. Если точка попадает в рабочую зону двух насосов, то выбирают насос с большим значением к.п.д.

После выбора типа насоса необходимо по его характеристике определить подачу Q, напор на одно колесо $H_к$ в оптимальном режиме (при максимальном к.п.д.) и напор на одно колесо при закрытой задвижке $H_{к0}$. Тогда число рабочих колес насоса определяется по формуле

$$z = \frac{H}{H_к} , \qquad (3.I)$$

где H – необходимый напор пожарного насоса;

$H_к$ – напор на одно колесо.

Расчетная величина z округляется до ближайшего бо́льшего целого числа.

Напор пожарного насоса при закрытой задвижке, т.е. при отсутствии расхода в пожарно-оросительной сети, может быть подсчитан по формуле

$$H_0 = H_{к0} \cdot z ,$$

здесь $H_{к0}$ – равняется значению H_0 (табл.3.2).

Выбранный насос проверяется на наличие рабочего режима и устойчивость. При этом необходимо соблюдать условие

$$H \leq 0{,}95\, H_0 . \qquad (3.2)$$

Если это условие не соблюдается, надо увеличить в насосе число рабочих колес.

Расчет пожарно-оросительного водоснабжения шахт следует проводить по максимально необходимому расходу воды на всех участках водопроводной сети.

В практике проектирования пожарно-оросительного водоснабжения шахт определение параметров трубопроводов осуществляется, как правило, двумя методами. Первый метод основан на выборе наиболее экономичного варианта водоснабжения с помощью программ для

ЭВМ. Исходными данными для проведения расчета являются схема прокладки труб и геодезические отметки точек отбора воды. На основании этих данных с помощью программ для ЭВМ можно проводить гидравлические расчеты и определять экономически выгодные варианты систем пожарно-оросительного водоснабжения по давлению и расходу с учетом нормативных требований. Указанный метод расчета разработан ВНИИГД и может быть рекомендован проектным организациям [3].

В связи с отсутствием ЭВМ на ряде предприятий предлагается инженерный метод определения параметров пожарно-оросительного трубопровода шахты. По этому методу для расчета подземного пожарного водоснабжения необходимо гидравлическую схему разбить на три участка, отличающихся по диаметру трубопровода и арматуры (рис.3.I). I - подводящий трубопровод и его арматура; II - трубопровод в насосной камере и его арматура; III - пожарный трубопровод и его арматура.

Для каждого участка надо определить сумму коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi$ и расчетную длину трубопровода l_p.

Расчетная схема составляется для наиболее удаленной точки отбора воды (пожарного крана). Значения коэффициентов местных сопротивлений следует принимать по табл.3.I [II].

Таблица 3.I

Арматура	Диаметр условного прохода, d_y, мм	Коэффициент местного сопротивления ξ
Задвижка клиновая фланцевая с выдвижным шпинделем	80-400	0,26
Клапан обратный поворотный фланцевый	80-400	I0
Клапан приемный с сеткой	I00	7,0
	I50	6,0
	200	5,2
	250	4,5
	300	3,7
Тройник равнопроходный	80-300	I,5
Колено сварное составное (90^0 с закруглением)	80-300	0,6
Диффузор	d_1/d_2 =(0,5+0,8)	0,25
Конфузор	d_1/d_2 =(I,2+I,65)	0,I

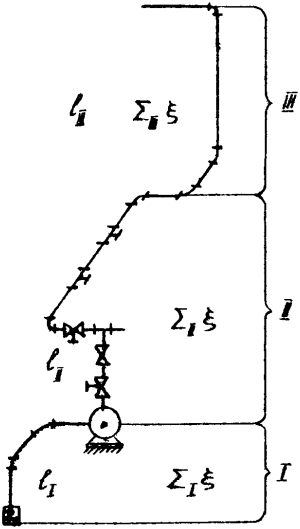


Рис.3.1. Гидравлическая схема пожарного трубопровода:
I-подводящий трубопровод и его арматура;
II-трубопровод в насосной камере и его арматура;
III-пожарный трубопровод и его арматура

Диаметр пожарно-оросительного трубопровода может быть определен по формуле

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0{,}785\,v}}\ , \qquad (3.3)$$

где Q – расчетный или нормируемый расход воды на пожаротушение, м³/с;

v – скорость движения воды в трубопроводе, принимаемая равной 4 м/с.

Составляется уравнение характеристики трубопровода

$$H = H_r + aQ^2, \qquad (3.4)$$

где H_r – геодезический напор, м;

a – сопротивление трубопровода, зависящее от диаметра и длины подводящего и напорного трубопроводов, а также от количества и типа трубопроводной арматуры.

Общее сопротивление трубопровода по принятой расчетной схеме состоит из трех частей

$$a = a_1 + a_2 + a_3\ . \qquad (3.5)$$

Сопротивление трубопровода на каждом участке определяется по удельным гидравлическим сопротивлениям (см.рис.3.I). Так, на участке I

$$a_1 = A_{дл1}\, l_{c1} + A_{м1}\, \Sigma_1 \xi\ , \qquad (3.6)$$

где $A_{дл1}$ – удельное сопротивление по длине;

$A_{м1}$ – удельное местное сопротивление;

$\Sigma_1 \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений I участка.

Сопротивление трубопроводов на II и III участках определяется аналогичным образом.

Значения удельных сопротивлений для наиболее распространенных диаметров условного прохода приведены в табл.2 приложения 2.

Расчетная характеристика трубопровода может быть представлена формулой

$$H = H_r + (A_{дл1}\, l_{c1} + A_{дл2}\, l_{c2} + A_{дл3}\, l_{c3} + A_{м1}\, \Sigma_1 \xi + A_{м2}\, \Sigma_2 \xi + A_{м3}\, \Sigma_3 \xi)\, Q^2. \qquad (3.7)$$

Графически находится режим работы пожарного насоса и пожарно-оросительного трубопровода, для чего на графике характеристики насоса строится характеристика трубопровода по формуле (3.4). Точка пересечения напорных характеристик насоса и трубопровода определяет рабочий режим. При этом следует соблюдать одинаковый масштаб для обеих характеристик и, кроме того, необходимо, чтобы рабочий режим находился в пределах зоны максимальных значений к.п.д. насоса.

Определяется необходимая мощность двигателя

$$N_{дв} = 1{,}1 \frac{\gamma Q_{раб} H_{раб}}{3600 \cdot 102 \eta_{раб}}, \text{ кВт}. \qquad (3.8)$$

По мощности и скорости вращения, указываемой в технической характеристике насоса, выбирают электродвигатель.

Пример расчета пожарной насосной станции и пожарно-оросительного трубопровода дан в приложении 2.

Однако графо-аналитический метод выбора оптимального диаметра трубопровода, при котором будет достигнут максимальный к.п.д. насоса, громоздкий. Поэтому ниже предлагается расчет по номограммам, которые облегчают выбор оптимального диаметра трубопровода после выбора типа пожарного насоса.

3.2. Расчет оптимального диаметра пожарного трубопровода при совместной работе с насосом

Питание пожарно-оросительной сети может осуществляться из подземного резервуара очищенной шахтной воды с помощью насосов подземной пожарной насосной станции, которая должна обеспечивать требуемые нормативными документами [1] напор и расход воды для тушения подземного пожара.

Проектирование систем шахтного водоснабжения предполагает не только подбор питающих пожарно-оросительную сеть насосов по основным параметрам Q и H, но и необходимость расчета их совместной работы с трубопроводами.

Как правило, для определения режима работы на график характеристики насоса наносится характеристика трубопровода, точка их

пересечения будет определить режим совместной работы насоса и выбранного трубопровода.

При аналитическом определении режима работы необходимо совместное решение уравнений напорной характеристики насоса и характеристики трубопровода.

Напорная характеристика насоса выражается уравнением вида [II]

$$H = z(H_0 + AQ - BQ^2), \qquad (3.9)$$

где H_0, A, B – постоянные коэффициенты, зависящие от типа насоса и принятых размерностей Q и H;

z – число рабочих колес насоса.

В табл.3.2 приведены значения коэффициентов уравнений напорных характеристик центробежных шахтных насосов, которые могут быть использованы в качестве пожарных.

Таблица 3.2

Насосы	$Q_н$	$H_н$	$\eta_н$	H_0	$A \cdot 10^3$	$B \cdot 10^6$
ЦНС 38-44,..220 (3МС-I0)	38	22	0,69	28,I	98,3	6800
ЦНС 38-50...250 (5МС-6)	38	25	0,50	26,5	I55	6870
5МС-7	60	25	0,63	22	96,5	2440
ЦНС 60-I92...330 (4МС-I0)	60	33	0,70	39,6	5I	2740
4МСК-I0	60	33	0,70	40,8	29,9	2820
ЦНС I05-98...490 (5МС-I0)	I05	49	0,68	53,9	I64	2020
ЦНС I80-85...425 (6МС-7)	I80	42,5	0,70	47,4	63,6	535
ЦНС I80-476...680 (6МС-I0)	I80	68	0,72	82,0	79,4	954
ЦНС 300-I20...600(8МС-7)	300	60	0,7I	66,9	40,I	22I
ЦНС 300-700...I000 (8МС-I0)	300	I00	0,78	II7,7	6I,2	47I

Примечание. При пользовании последними двумя колонками для получения коэффициента A необходимо табличную величину умножить на 10^{-3}, а для получения коэффициента B – на 10^{-6}.

Характеристика трубопровода выражается уравнением [I2]

$$H = H' + \frac{B}{\pi^2 g} \cdot \frac{\lambda l}{d^5} \cdot \frac{Q^2}{3600^2}, \qquad (3.10)$$

где H' – геометрический напор (может быть как положительным, так и отрицательным), м;

$$H' = \Delta H_r + h_к ;$$

ΔH_r – разность геодезических отметок наиболее удаленной точки отбора и точки расположения насоса (при водоснабжении бремсберговых полей является положительной величиной, а при водоснабжении уклонов – отрицательной), м;

$h_к$ – минимальный напор в наиболее удаленной точке отбора воды, равный 60 м;

λ – коэффициент Дарси, определяемый по формуле [I4]

$$\lambda = \frac{0{,}0121}{d^{0{,}226}} ;$$

ℓ – длина пожарно-оросительного трубопровода с учетом эквивалентной длины на местные сопротивления, м;

d – диаметр трубопровода, м.

Наиболее экономичной является работа центробежного насоса при максимальном к.п.д.

Анализ кривых $\eta = f(Q)$ насосов показал, что они довольно точно выражаются уравнением кубической функции вида

$$\eta = aQ + bQ^2 + cQ^3 = Q(a + bQ + cQ^2), \qquad (3.II)$$

где a, b, c – постоянные коэффициенты, зависящие от типа насоса и принятых размерностей Q и η .

Значения входящих в формулу (3.II) параметров a, b, c для некоторых центробежных насосов, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл.3.3.

Таблица 3.3

Насосы	Параметры $\eta = f(Q)$		
	$a \cdot 10^5$	$b \cdot 10^7$	$c \cdot 10^{10}$
5 МС–7	2344	–2543	7469
4 МСК–I0	2I23	–I838	2840
ЦНС I05–98...490 (5МС–I0)	I398	–864	I333
ЦНС I80–85...425 (6МС–7)	7II	–67,9	–609
ЦНС 00–I20...600 (8МС–7)	582	–I38,3	78,2

Примечание. Для получения коэффициента a необходимо табличную величину умножить на 10^{-5}, для получения b – на 10^{-7}, для получения c – на 10^{-10}.

Режим работы насоса при максимальном к.п.д. определяется из условия $\frac{d\eta}{dQ}=0$ или

$$a + 2bQ + 3cQ^2 = 0. \qquad (3.12)$$

Приравнивая напоры H в формулах (3.9) и (3.10), получаем зависимость подачи насоса Q от параметров трубопровода и насоса, отвечающую различным значениям к.п.д.

$$Q = \frac{zA + \sqrt{z^2A^2 - 4\left(\frac{\beta}{\pi^2 g 3600^2}\cdot\frac{\lambda l}{d^5} + zB\right)(H' - zH_0)}}{2\left(\frac{\beta}{\pi^2 g 3600^2}\cdot\frac{\lambda l}{d^5} + zB\right)} \qquad (3.13)$$

Из уравнений (3.12) и (3.13) получаем зависимость параметров насоса и трубопровода, при которой обеспечивается режим работы насоса при максимальном к.п.д.

$$3c\left(zA + \sqrt{z^2A^2 - 4\left(\frac{\beta}{\pi^2 g 3600^2}\cdot\frac{\lambda l}{d^5} + zB\right)(H' - zH_0)}\right) +$$

$$+ 2\left(\frac{\beta}{\pi^2 g 3600^2}\cdot\frac{\lambda l}{d^5} + zB\right)\left(b + \sqrt{b^2 - 3ac}\right) = 0. \qquad (3.14)$$

Из зависимости (3.14) определяется диаметр трубопровода d, обеспечивающий экономичный режим работы насоса по его параметрам

$$d = \left\{\frac{0{,}0242\,K l}{-(TRH' + L) + [(TRH' + L)^2 - 4K(TzBH' + M)]^{0{,}5}}\right\}^{0{,}1913}, \qquad (3.15)$$

здесь вспомогательные коэффициенты, зависящие от параметров выбранного насоса, определяются по формулам:

$$R = \frac{\beta}{\pi^2 g 3600^2};$$

$$S = b + \sqrt{b^2 - 3ac};$$

$$T = 3bc^2; \quad T = 36C^2;$$

$$K = 4R^2S^2;$$

$$L = -TRzH_0 + 12czARS + 8zBRS^2;$$

$$M = -Tz^2BH_0 + 12cz^2ABS.$$

Величина диаметра трубопровода (3.I5) зависит от параметров насоса, длины трубопровода и напора H'.

По формуле (3.I5) для некоторых шахтных насосов составлены номограммы для определения оптимальных диаметров трубопроводов (рис.3.2-3.6).

Картотека номограмм может быть расширена по мере необходимости использования и других насосов согласно разработанной методике их построения.

Таким образом, исходными данными для определения рабочих режимов пожарных насосов с трубопроводом являются:

необходимый расчетный расход воды $Q_{расч}$;

геометрическая высота водоподъема $\Delta H_г$;

величина требуемого напора в конечной точке $h_к$;

длина пожарно-оросительного трубопровода ℓ.

По расходу $Q_{расч}$ выбирается насос, подача которого $Q_н$ приближается к $Q_{расч}$ и удовлетворяет неравенству $Q_н > Q_{расч}$. Затем определяются параметры характеристик этого насоса: H_0, A, B, a, b, c по таблицам 3.2 и 3.3. Вычисляются вспомогательные коэффициенты R, S, T, K, L, M, после чего по формуле (3.I5) или по номограммам (см.рис.3.2-3.6) определяется диаметр пожарно-оросительного трубопровода в зависимости от напора $H' = \Delta H_г + h_к$ и длины трубопровода ℓ.

В качестве ключа для пользования номограммами приведем следующий пример. Пусть по расчету расход пожарно-оросительной сети шахты равен 90 м^3/ч. Эта подача воды обеспечивается насосом ЦНС I05-98...490. По номограмме (см.рис.3.4) при известных величинах длины трубопровода ℓ и напора H' определяем диаметр трубопровода. Пусть ℓ = 2000м и $H' = \Delta H_г + h_к$ = 40 + 60 = I00 м. Для этого отмечаем на оси длин ℓ точку, соответствующую 2000 м, а на оси напоров H' – точку, соответствующую I00 м. Соединяем отмеченные точки отрезком прямой линии, пересекая при этом среднюю ось диаметров d. Полученная точка пересечения указывает определяемый диаметр. В приведенном примере он равен II7 м.

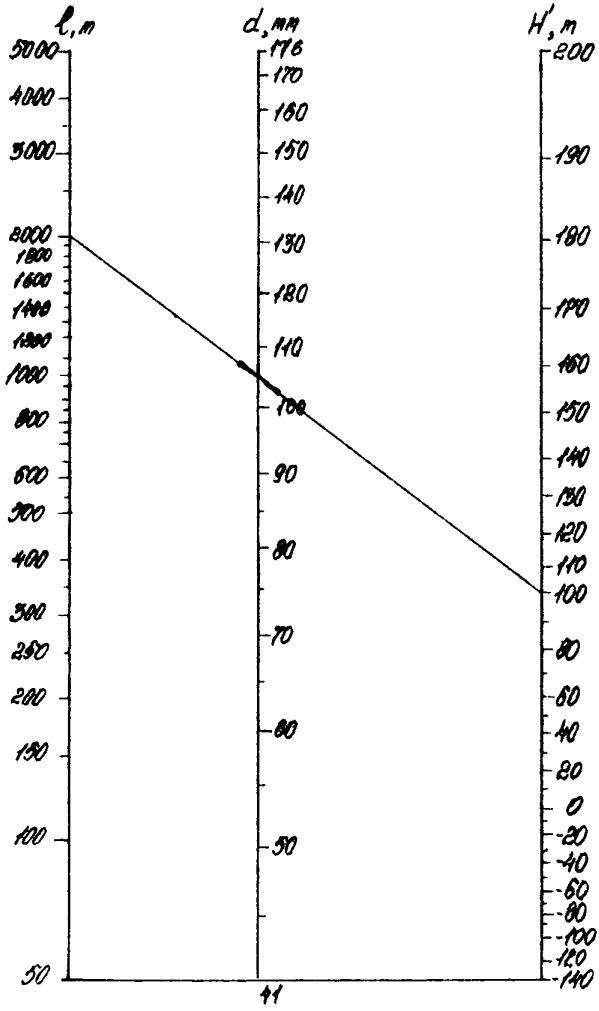


Рис. 3.2. Номограмма для определения оптимального диаметра пожарно-оросительного трубопровода с насосом 5 МС-7

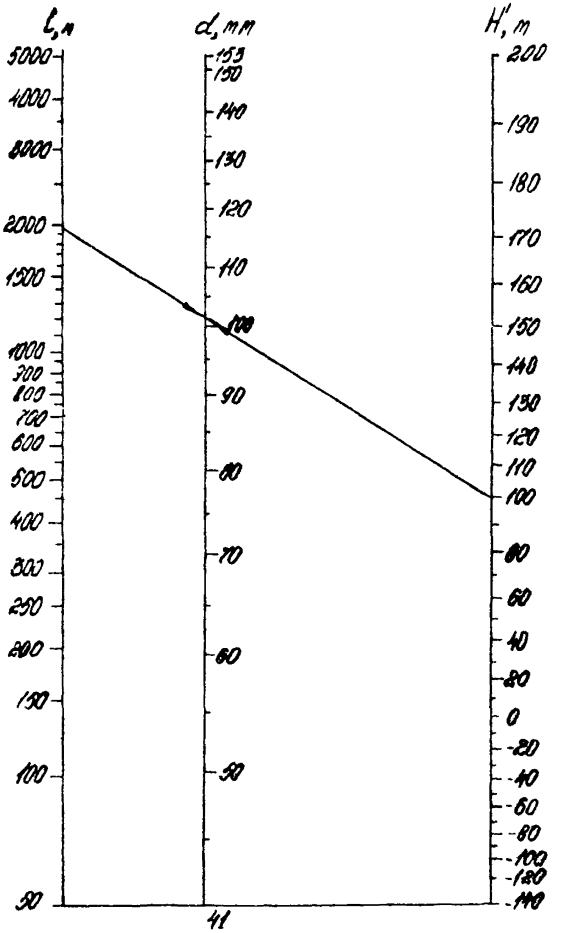


Рис. 3.3. Номограмма для определения оптимального диаметра пожарно-оросительного трубопровода с насосом 4 МСК-10

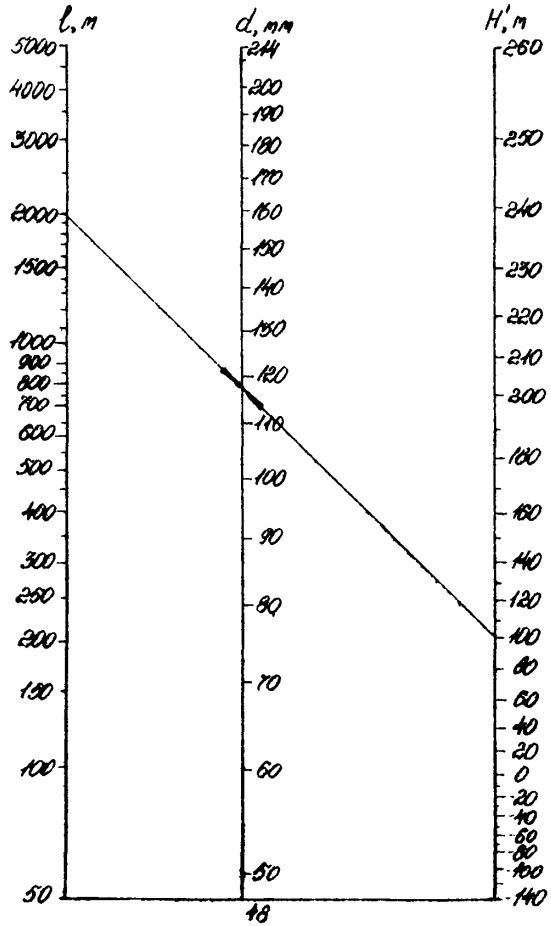


Рис.3.4. Номограмма для определения оптимального диаметра пожарно-оросительного трубопровода с насосом ЦНС 105-98...490 (5 МС-10)

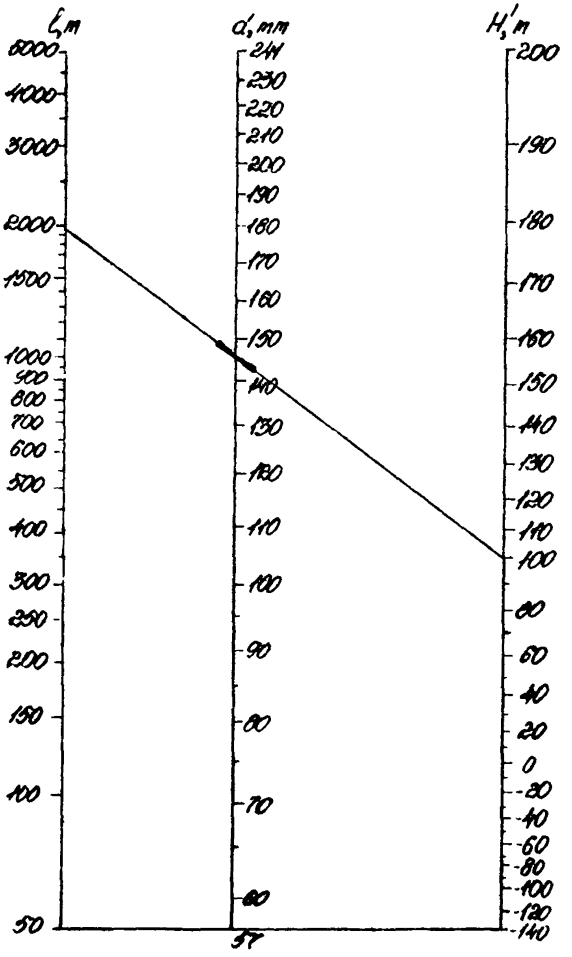


Рис.3.5. Номограмма для определения оптимального диаметра пожарно-оросительного трубопровода с насосом ЦНС 180-85...425 (6 МС-7)

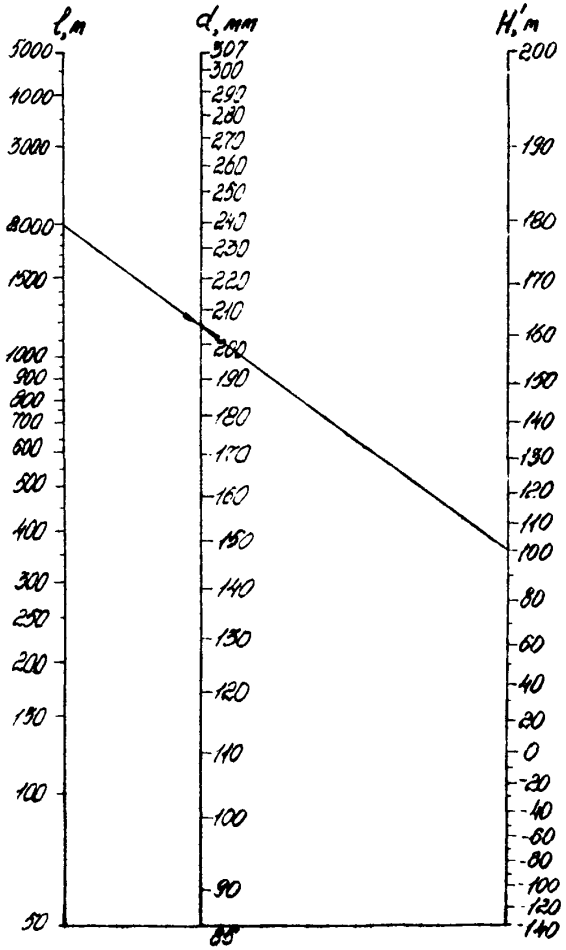


Рис.3.6. Номограмма для определения оптимального диаметра пожарно-оросительного трубопровода с насосом ЦНС 300-120...600 (8 МС-7)

3.3. Изменение режима работы насосов в процессе эксплуатации

Пожарные насосы, кроме своего прямого назначения, используются для подачи воды в пожарно-оросительную сеть для технологических нужд. В связи с этим в процессе эксплуатации характеристики насоса и трубопровода меняются. Напорная кривая насоса вследствие износа его деталей и узлов снижается. Кривая напорной характеристики трубопровода вследствие коррозии его внутренних стенок становится более крутой. Отсюда режим работы системы пожарный насос-трубопровод смещается влево, насос работает с меньшей подачей, увеличивается расход энергии.

Для проектирования пожарной насосной станции и эффективной ее работы необходимо учитывать закономерности изменения режима работы насоса в процессе его эксплуатации с целью своевременной его замены.

Подача пожарного насоса в зависимости от времени наработки определяется по следующей формуле, где учтены параметры насоса и трубопровода:

$$Q = \frac{AD + \sqrt{(AD)^2/3600^2 - 4\alpha\,(3600^2 H_r - H_0 D)}}{2\alpha}, \qquad (3.16)$$

где H_0, A – коэффициенты, зависящие от типа насоса (см.табл.3.2);

$$D = z\,(1 - c_p t^{0,5}) \cdot 3600^2; \qquad (3.17)$$

z – число ступеней насоса;

c_p – коэффициент снижения напора, зависящий от расхода воды на технологические нужды Q, определяемый графически (рис.3.7);

t – время эксплуатации насоса, ч;

H_r – геометрическая высота подъема, м;

$$\alpha = BD + \frac{8}{\pi^2 g}\left(\lambda' \frac{l + l'_э}{d_1^5} + \frac{1}{d_1^4}\right);$$

l – длина трубопровода, м;

$$d_1 = d\,(1 - 0{,}01\,t_1^{0,5}); \qquad (3.18)$$

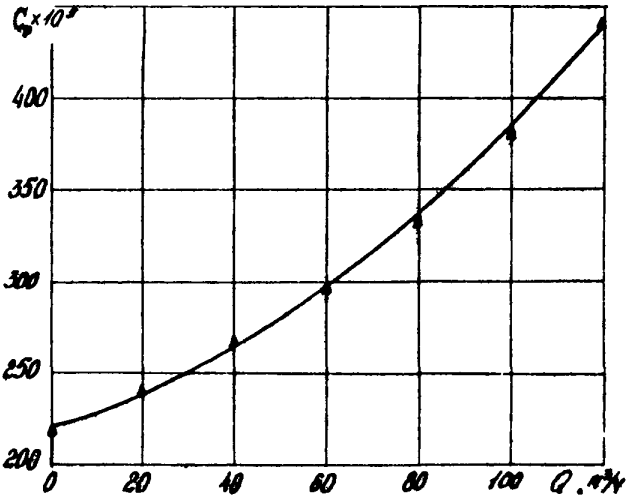


Рис.3.7. Определение коэффициента зависимости снижения напора C_p

d, d_1 - фактический и начальный диаметры трубопровода, м;

$$\lambda_1 = \lambda (1 + 0{,}3 t_1^{0{,}6}); \qquad (3.19)$$

λ - коэффициент Дарси

$$\lambda = \frac{0{,}0121}{d^{0{,}226}}; \qquad (3.20)$$

$$\ell_э' = \frac{d_1 \xi}{\lambda_1} = \frac{d (1 - 0{,}01 t_1^{0{,}5}) \xi}{\lambda (1 + 0{,}3 t_1^{0{,}6})}; \qquad (3.21)$$

ξ - коэффициент местных сопротивлений, определяемый по табл.3.1;

t_1 - время эксплуатации трубопровода, лет.

Так как насос, подающий воду на технологические нужды, должен работать со среднесуточной нагрузкой 14 ч, то за год работы наработка составит 5100 ч. Следовательно, $t_1 = t/5100$.

Напор пожарного насоса, соответствующий найденной подаче в момент времени t, определяется формулой вида [15]

$$H = z (H_0 + AQ - BQ^2)(1 - c_p t^{0{,}5}). \qquad (3.22)$$

Зависимости (3.16) и (3.22) описывают закономерности изменения подачи и напора пожарного насоса во времени, что позволяет предвидеть изменение режима работы насосов пожарной насосной станции в процессе эксплуатации. Вычисляя подачу и напор пожарного насоса через определенные промежутки времени, определяем момент, когда режим работы насоса не удовлетворяет требованиям нормативных документов при тушении подземных пожаров. Это время соответствует замене пожарного насоса.

Пример расчета изменения режима работы насоса подземной пожарной насосной станции дан в приложении 3.

3.4. Расчет оптимальных рабочих параметров гидроэлеватора и пожарно-оросительного трубопровода

Для выбора гидроэлеватора необходимы исходные данные в виде оптимальных соотношений параметров, которым должен удовлетворять гидроэлеватор конкретной схемы, а также методика расчета геометри-

ческих размеров гидроэлеватора в случае необходимости его изготовления шахтной мастерской.

Рабочий режим схемы с гидроэлеватором определяется графически (рис.3.8). Вначале строится характеристика гидроэлеватора $Q_н - H_н$ по полученной экспериментальным путем формуле

$$H_н = 1,14\,H_{тр} - 2160\,Q_н^2, \qquad (3.23)$$

где $H_н$ – напор на выходе гидроэлеватора, м;
$Q_н$ – расход воды на выходе гидроэлеватора, м^3/ч;
$H_{тр}$ – напор, требуемый по расчету в пожарно-оросительном трубопроводе, м.

На том же графике строятся характеристики трубопроводов согласно зависимости [I2]

$$H = H_г + s_0 \ell Q^2, \qquad (3.24)$$

где $H_г$ – геометрический напор, м;
ℓ – длина трубопровода, м;
s_0 – удельное гидравлическое сопротивление трубопровода заданного диаметра (табл.3.4) [I2], с^2/м^6.

Таблица 3.4

Условный проход $d_у$, мм	Расчетный внутренний диаметр $d_р$, мм	s_0 при скорости v, м/с	
		$< 1,2$	$\geq 1,2$
I00	II4	I99	I73
I25	I33	87,6	76,4
I50	I58	35,3	30,7
I75	I70	23,9	20,8
200	209	8,0I	6,96
250	260	2,52	2,I9
300	3II	0,97	0,85

Диаметры трубопроводов взяты соответствующими стандартным диаметрам трубопроводов пожарно-оросительной сети – I00, I25, I50, I75 и 200 мм.

Точки пересечения характеристик трубопроводов и гидроэлеваторов являются рабочими точками. Рабочая точка должна попадать в выделенное на графике поле, пределы которого строго регламентируются

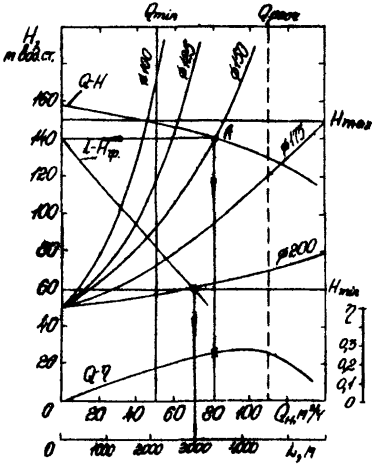


Рис.3.8. Схема определения рабочего режима системы гидроэлеватор – пожарный трубопровод

"Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах" [I]. Так, горизонтальные линии соответствуют верхнему H_{max} (I50 м) и нижнему H_{min} (60 м) пределам напора воды в пожарно-оросительном трубопроводе. Вертикальными линиями поле ограничивается слева минимальной подачей Q_{min} (50 м³/ч) воды, а справа ограничено условно расчетной подачей $Q_{расч}$ воды на конкретную пожарно-оросительную сеть.

В качестве ключа для примера выбора режима работы гидроэлеватора графическим путем на рис.3.4 взята точка A пересечения характеристики гидроэлеватора и характеристики трубопровода диаметром I50 мм при принятом $H_г$ = 50 мм. Рабочая точка A гидроэлеватора попадает в верхнюю часть выделенного поля и соответствует напору на выходе, равному I40 м, и расходу 82 м³/ч. Далее график $Q-H$ совмещается с графиком $L-H$ потерь напора по длине трубопровода выбранного диаметра и пересекающим ось напоров в точке, соответствующей рабочему режиму (I40 м). Для графика $L-H$ вертикальная ось напоров H совпадает с осью H графика $Q-H$, а ось длин трубопроводов L проведем ниже оси Q и параллельно ей. Прямая линия потерь напора по длине трубопровода пересекается с горизонталью H_{min}. Из точки пересечения опускается перпендикуляр на ось L. Таким образом определяется максимальная длина трубопровода выбранного диаметра. В ключе графика полученная максимальная длина трубопровода соответствует 3000 м.

Режим работы гидроэлеватора должен соответствовать максимальному или близкому к нему значению к.п.д. Известно, что к.п.д. гидроэлеватора с увеличением размеров при прочих равных условиях увеличивается.

Наиболее часто применяются гидроэлеваторы с отношением $m = f_{гор}/f_{сеч} = 4-10$. В работе [2I] приведены значения отношений $f_{гор}/f_{сеч}$, $H_н/H_в$ и $Q_п/Q_в = \beta$, отвечающие наивыгоднейшим условиям работы гидроэлеваторов. В табл.3.5 даны оптимальные соотношения параметров, дополненные требуемыми значениями напоров на входе в гидроэлеватор при заданных напорах на выходе $H_{н\,min}$ = 60 м, $H_{н\,max}$ = I50 м; $H_н$ = 200 м и расходами рабочей жидкости при условии, что суммарный расход на выходе равен 80 м³/ч.

Таблица 3.5

$\frac{f_{гор}}{f_{соп}}$	$\frac{H_н}{H_в}$	$\frac{Q_п}{Q_в}=\beta$	η	$Q_в$, м³/с при условии $Q_в+Q_п=80$	$H_в$, м при $H_н$ = 60	$H_н$=150	$H_н$= 200
4	0,225	1,0	0,22	40	267	667	889
5	0,185	1,2	0,22	37	324	811	1081
6	0,150	1,37	0,21	34	400	1000	1333
7	0,125	1,62	0,21	31	480	1200	-
8	0,120	1,75	0,21	29	500	1250	-
9	0,110	1,82	0,20	28,3	545	-	-
10	0,100	2,0	0,20	27	600	-	-

Из уравнения характеристики гидроэлеватора, приведенной в работе [22], получена формула

$$\frac{H_н}{H_в} = a_1 - a_2\beta - a_3\beta^2, \qquad (3.25)$$

где $H_н$ - напор, развиваемый гидроэлеватором, м;

$H_в$ - напор на входе в гидроэлеватор, м;

a_1, a_2, a_3 - коэффициенты, зависящие от отношения сечений горловины ($f_{гор}$) и сопла ($f_{соп}$) (табл.3.6);

β - коэффициент инжекции.

Таблица 3.6

$f_{гор}/f_{соп}$	a_1	a_2	a_3
4	0,3222	0,0887	0,0085
5	0,2700	0,0607	0,0084
6	0,2416	0,0522	0,0107
7	0,2116	0,0394	0,0087
8	0,1803	0,0258	0,0050
9	0,1638	0,0215	0,0044
10	0,1473	0,0168	0,0034

Как видно из полученной формулы (3.25), отношение выходного и входного напоров гидроэлеватора зависит от относительных количеств эжектируемой шахтной воды и от отношения сечений горловины и сопла гидроэлеватора.

Пользуясь формулой (3.25) и табл.3.6, подбирают такое соотношение сечений горловины и сопла гидроэлеватора, которому соответствует требуемое отношение напора на входе и выходе гидроэлеваторе. Оптимальное соотношение сечений горловины и сопла дано в работе [22]

$$\left(\frac{f_{гор}}{f_{соп}}\right)_{опт} = 0{,}88\,\frac{H_в}{H_н}\,. \qquad (3.26)$$

Расчет геометрических размеров гидроэлеватора (рис.3.9) проводится по следующим формулам:

$$f_{соп} = 66\cdot\frac{Q_в}{\sqrt{H_в}}\,,\ мм^2, \qquad (3.27)$$

где $Q_в$ – расход рабочей воды, $м^3/ч$;

$H_в$ – напор на входе в гидроэлеватор, м.

Диаметр рабочего сопла

$$d_{сп} = 1{,}13\sqrt{f_{соп}}\,. \qquad (3.28)$$

Диаметр горловины (камеры смешения)

$$d_{гор} = \frac{d_{соп}}{\sqrt{f_{соп}/f_{гор}}}\,. \qquad (3.29)$$

Расстояние от выходного сечения сопла до входа в камеру смешения

$$\ell_c = (1-1{,}5)\,d_{гор}. \qquad (3.30)$$

Длина цилиндрической камеры смешения

$$\ell_к = (6-10)\,d_{гор}. \qquad (3.31)$$

Длина диффузора

$$\ell_д = (6-7)(d_c - d_{гор}), \qquad (3.32)$$

где d_c – диаметр выходного сечения диффузора.

Пример расчета гидроэлеватора дан в приложении 4.

Расчет на прочность деталей гидроэлеватора осуществляется известными методами расчета арматуры трубопровода высокого давления.

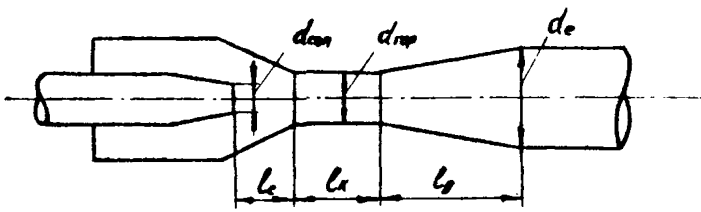


Рис.3.9. Расчетная схема геометрических размеров гидроэлеватора:

$d_{соп}$, $d_{гор}$, d_c – диаметры сопла, горловины, выходного сечения диффузора;

ℓ_c – расстояние от выходного сечения сопла до входа в горловину;

$\ell_к$ – длина камеры смешения (горловины);

$\ell_д$ – длина диффузора

Учитывая зарастание и проведя дополнительный расчет на прочность в соответствии с существующими нормами (ГОСТ 8732-70), выбираем нагнетательный трубопровод с диаметром условного прохода d_y = I50 мм.

Трубный коллектор и арматура внутри камеры принимают с диаметром условного прохода d_y = I5С мм, всасывающий трубопровод - с d_y = 200 мм.

8. Составляем характеристику трубопровода согласно гидравлической расчетной схеме (см.рис.3.I).

I участок. Диаметр условного прохода d_y = 200 м, строительная длина трубопровода l_{c1} = I8 м. Ввиду небольшой длины всасывающего трубопровода поправка на несоответствие фактического диаметра условному проходу не производится.

Коэффициенты местных сопротивлений по схеме (рис.3.I) и табл.3.I будут:

клапан приемный с сеткой - 5,2; колено с закруглением - 0,6 х 2 = I,2; переход (конфузор) 200/I50 - 0,I, откуда $\Sigma_1\xi$ = 5,2 + I,2 + 0,I = 6,5.

Сопротивление I участка трубопровода $a_1 = A_{\partial 1} l_{c1} + A_{M1} \Sigma_1 \xi =$

$= (0{,}67807 \cdot 1{,}8 + 3{,}9847 \cdot 6{,}5) \cdot 10^{-6} = 38{,}11 \cdot 10^{-6}$, $ч^2/м^6$,

причем значения $A_{\partial 1}$ и A_{M1} взяты из табл.П.2.

Таблица П.2

d_y, мм	λ	$A^*_{\partial 1}$, $ч^2/м^6$	A^*_M, $ч^2/м^5$
I00	0,04I900	26,7I4	63,755
I25	0,039I87	8,I868	26,II4
I50	0,037I02	3,II50	I2,594
I75	0,035425	I,3760	6,7977
200	0,034034	0,67807	3,9847
225	0,032852	0,3632I	2,4876
250	0,03I830	0,20780	I,632I
275	0,030933	0,I2539	I,II477
300	0,030360	0,079066	0,787I0

* Величину умножить на $I0^{-6}$.

II участок. Диаметр условного прохода d_y = 150 мм. Строительная длина прямых участков l_{c2} = 15 м. Ввиду малой длины трубопровода поправка на несоответствие фактического диаметра условному проходу не производится.

Коэффициенты местных сопротивлений по указанной схеме и табл.3.1 будут: вставка (конфузор) d = 150 мм - 0,1; задвижка клиновая d = 150 мм - 2 х 0,26 = 0,52; клапан обратный поворотный - 10; тройник равнопроходный - 3 х 1,5 = 4,5, откуда

$$\Sigma_2 \xi = 0{,}1 + 0{,}52 + 10 + 4{,}5 = 15{,}12 .$$

Сопротивление II участка трубопровода

$$a_2 = A_{эл2}\, l_{c2} + A_{м2}\, \Sigma_2 \xi =$$

$$= (3{,}115 \cdot 15 + 12{,}594 \cdot 15{,}12) \cdot 10^{-6} = 237{,}15 \cdot 10^{-6},\ ч^2/м^5.$$

III участок. Диаметр условного прохода d_y = 150 мм, строительная длина трубопровода l_{c3} = 520 м.

Сопротивление III участка трубопровода с учетом прибавки 10% на местные сопротивления

$$a_3 = 1{,}1\, A_{эл3}\, l_{c3} = 1{,}1 \cdot 3{,}115 \cdot 520 \cdot 10^{-6} = 1781{,}8 \cdot 10^{-6},\ ч^2/м^5.$$

Суммарное сопротивление трубопровода

$$a = a_1 + a_2 + a_3 = (38{,}11 + 237{,}15 + 1781{,}8) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 2056{,}26 \cdot 10^{-6} = 0{,}002056,\ ч^2/м^5.$$

Характеристика трубопровода $H = H_r + H_c + aQ^2 =$

$$= 110 + 60 + 0{,}002056\, Q^2 = 170 + 0{,}002056\, Q^2 .$$

Задаваясь различными значениями Q, составляем ряд параметров построения характеристики трубопровода:

Q	...	0	25	50	75	100	125	150
Q^2	...	0	625	2500	5625	10000	15625	22500
aQ^2	...	0	1,285	5,14	11,565	20,56	32,125	46,25
H	...	170	171,3	175,1	181,6	190,6	202,1	216,3

9. Затем на напорную характеристику насоса (рис.П.2.2) наносим характеристику трубопровода. Точка пересечения характеристики трубопровода с характеристикой насоса A определяет рабочий режим насоса.

Получены следующие данные Q_p = 108 м^3/ч, H_p = 194 м.

10. Потребляемая мощность двигателя

$$N = 1{,}1\,\frac{\gamma\, Q_{раб}\, H_{раб}}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_p} = 1{,}1\,\frac{1000 \cdot 108 \cdot 194}{3600 \cdot 102 \cdot 0{,}68} = 99{,}30\ кВт.$$

Приложение I

ПРИМЕР РАСЧЕТА ВЫБОРА МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ОЧИСТНОГО СООРУЖЕНИЯ

Исходные данные для расчета: водоприток Q = 100 м³/ч; часовой объем используемой очищенной воды (требуемой на технологические нужды шахты) $Q_{исп}$ = 40 м³/ч; нормативный коэффициент эффективности E = 0,15; геодезический напор $H_г$ = 800 м; стоимость 1 кВт·ч электроэнергии c = 0,007 руб/кВт·ч; коэффициенты полезного действия водоотливной установки η = 0,71; $\eta_{эд}$ = 0,915; η_t = 1; η_c = 0,95.

Исходя из этих данных и требований к глубине очистки шахтной воды (остаточное содержание взвеси – до 5 мг/л), выбираем для сравнения по табл.I.2 поверхностную схему № 3 отстаивания в вертикальных отстойниках с реагентной обработкой и фильтрованием на скорых фильтрах и схему № 6 (подземный вариант) с производительностью до 100 м³/ч.

Тогда к исходным данным добавятся следующие:

себестоимость очистки $C_{оч}$ = 0,032 руб/м³ и удельные капитальные затраты $K_{оч}$ = 0,11 руб/м³ для поверхностного варианта и соответственно для подземного варианта

$$C^{п}_{оч} = 0{,}070 \text{ руб/м}^3; \qquad K^{п}_{оч} = 0{,}41 \text{ руб/м}^3.$$

Вычислим значения коэффициентов неравенства (I.8):

$$A = (0{,}070 - 0{,}032) + 0{,}15(0{,}41 - 0{,}11) = 0{,}083 \text{ руб/м}^3;$$

$$B = 0{,}007 \cdot 1{,}1 \cdot \frac{0{,}00273}{0{,}71 \cdot 0{,}915 \cdot 1 \cdot 0{,}95} = 0{,}0000345 \text{ руб/м}^4.$$

Подставим значения величин в неравенство (I.8)

$$\frac{100}{40} > 1 + \frac{0{,}0000345}{0{,}083} \cdot 800 ,$$

или

$$\frac{100}{40} > 1{,}333 .$$

Неравенство выполняется, следовательно, выбирается поверхностная схема расположения очистных сооружений.

Приложение 2

ПРИМЕР РАСЧЕТА ПОДЗЕМНОЙ ПОЖАРНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ И ПОЖАРНО-ОРОСИТЕЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

I. Исходные данные для расчета: расход пожарно-оросительной сети расчетный $Q_{расч}$ = I00 м^3/ч; напор, допускаемый в магистрали пожарно-оросительной сети H = 200 м; напор в конечной точке H_c = 60 м; гидравлическая схема (см.рис.3.I).

2. Для определения типа насоса на графики (рис.П.2.I) наносим точку A с координатами $Q_{расч}$ = I00 м^3/ч и H = 200 м. Точка A попадает в рабочую зону насоса ЦНС I05-98...490 (5МС-I0).

3. По индивидуальной характеристике или табл.3.2 определяем основные параметры насоса ЦНС I05-98...490: $Q_н$ = I05 м^3/ч; $H_к$ = 49 м; $H_{к0}$ = 54 м; $\eta_н$ = 0,68.

4. Число рабочих колес насоса

$$z = \frac{H}{H_к} = \frac{200}{49} \approx 4.$$

Принимаем насос с четырьмя рабочими колесами.

5. Напор насоса при нулевой подаче

$$H_0 = 2\,H_{к0} = 4 \cdot 54 = 216\ м.$$

6. Проверяем выбранный насос на наличие рабочего режима и устойчивость при соблюдении условия $H < 0{,}95\,H_0$. Так как $0{,}95 \cdot H_0$ = 205, а 200 м < 205м, то рабочий режим будет устойчивым.

7. Диаметр напорного трубопровода определяем по формуле

$$d = \sqrt{\frac{Q_{расч}}{0{,}785\,v}}.$$

Принимаем следующие данные для расчета: скорость движения воды при расходах на пожаротушение v = 4 м/с;

$$Q_{расч} = 0{,}028\ м^3/с;\ (100\ м^3/ч).$$

Тогда

$$d = \sqrt{\frac{0{,}028}{0{,}785 \cdot 4}} = 0{,}095\ м.$$

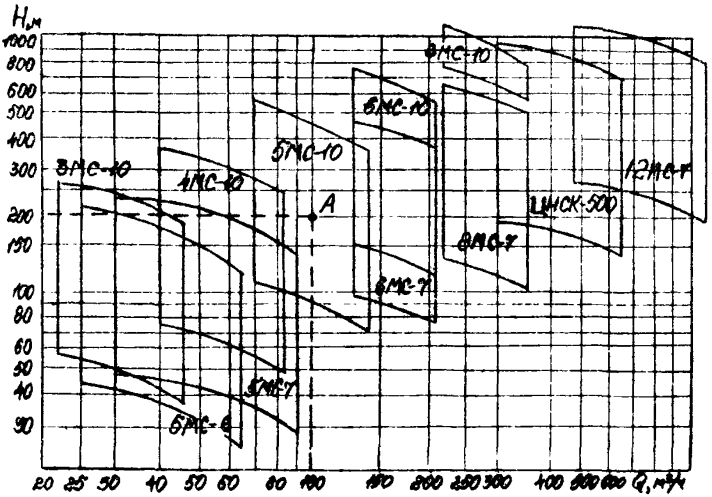


Рис.П.2.1. Рабочие зоны характеристик шахтных насосов

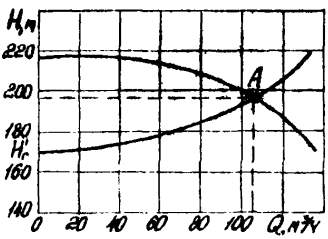


Рис.П.2.2. Характеристики насоса и трубопровода

Приложение 3

ПРИМЕР РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ПОЖАРНОГО НАСОСА

Определим изменение режима работы насоса 5МС-7 х 7 и трубопровода, характеризующегося следующими параметрами: геодезическая высота подачи $H_г$ = 100 м, длина ℓ = 1500 м, диаметр нового трубопровода d = 0,105 м, коэффициент Дарси трубопровода $\lambda = \frac{0,0121}{0,105 \cdot 0,226} = 0,02014$, коэффициент местных сопротивлений ξ = 17. Для насоса 5МС-7 х 7 количество ступеней z = 7. По таблице 3.2 выбираются значения коэффициентов H_0 = 22, A = 0,0965, B = 0,0244, при расходе на технологические нужды $Q_т$ = 40 м³/ч из графика (рис.3.7) получено значение коэффициента $C_р$ = 0,00266. В начальный период эксплуатации (t = 0, t_1 = 0) режим работы насоса определяется по формулам (3.16), (3.22) после вычисления вспомогательных величин (3.17)-(3.21):

$$\mathcal{D} = 7(1 - 0,00266 \cdot 0^{0,5}) \cdot 3600^2 = 90720000;$$

$$d' = 0,105(1 - 0,01 \cdot 0^{0,5}) = 0,105;$$

$$\lambda' = 0,02014(1 + 0,3 \cdot 0^{0,6}) = 0,02014;$$

$$\ell_э' = \frac{0,105 \cdot 17}{0,02014} = 88,6296;$$

$$\alpha = \left(0,00244 \cdot 90720000 + \frac{8}{3,14^2 \cdot 9,81}\left(0,02014 \frac{1500 + 88,630}{0,105^5} + \frac{1}{0,105^4}\right)\right).$$

$$Q = \frac{0,0965 \cdot 90720000 + \sqrt{(0,0965 \cdot 90720000)^2 / 3600^2 - 4\alpha(3600^2 \cdot 100 - 22 \cdot 90720000)}}{2\alpha} =$$

$$= 51,9 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$H = 7(22 + 0,0965 \cdot 51,9 - 0,00244 \cdot 51,9^2)(1 - 0,00266 \cdot 0^{0,5}) = 142,9 \text{ м}.$$

К концу года напорная кривая насоса снизится и изменится характеристика трубопровода. Режим работы насоса также определяем по формулам (3.16) и (3.22) после вычисления вспомогательных величин (3.17)-(3.21) для условий: t = 5100 ч и t_1 = 1 году:

$$\mathcal{D} = 7\,(1-0{,}00266\cdot 5100^{0{,}5})\cdot 3600^2 = 73487000;$$

$$d' = 0{,}105\,(1-0{,}01\cdot 1^{0{,}5}) = 0{,}10395;$$

$$\lambda' = 0{,}02014\,(1+0{,}3\cdot 1^{0{,}6}) = 0{,}02618;$$

$$\ell_э' = \frac{0{,}105\,(1-0{,}01\cdot 1^{0{,}5})\cdot 17}{0{,}02014\,(1+0{,}3\cdot 1^{0{,}6})} = 67{,}50;$$

$$\alpha = (0{,}0244\cdot 73490000 + \frac{8}{3{,}14^2\cdot 9{,}81}(0{,}02618\,\frac{1500+67{,}50}{0{,}10395^5} + \frac{1}{0{,}10395^4})).$$

$$Q = \frac{0{,}0965\cdot 73490000 + \sqrt{(0{,}0965\cdot 73490000)^2/3600^2 - 4\alpha(3600^2\cdot 100 - 22\cdot 73490000)}}{2\alpha} =$$

$$= 35{,}2\ м^3/ч;$$

$$H = 7\,(22+0{,}0965\cdot 35{,}2 - 0{,}00244\cdot 35{,}2^2)(1-0{,}00266\cdot 5100^{0{,}5}) = 126{,}9\ м.$$

Из полученного решения следует, что совместная работа насоса 5МС-7 х 7 и трубопровода диаметром 0,105 м и длиной 1500 м к концу года не удовлетворяет по расходу требованиям нормативных документов при тушении подземных пожаров. Следовательно, насос необходимо заменить.

Приложение 4

ПРИМЕР РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ И К.П.Д. ГИДРОЭЛЕВАТОРА

Рассмотрим упрощенную схему с гидроэлеватором (рис.П.4.I). Здесь глубина шахты определяет напор в пожарно-оросительном ставе $H_в$; высота подачи $H_г$ плюс требования к напору в конечной точке – напор на выходе гидроэлеватора $H_н$; высота всасывания шахтной воды из водосборника – $H_п$.

Обозначим через $Q_п$ количество инжектируемой гидроэлеватором шахтной воды; $Q_в$ – количество рабочей воды, подводимой с поверхности по пожарно-оросительному ставу к соплу гидроэлеватора; $\beta = Q_п/Q_в$ – коэффициент инжекции (подмешивания).

Очевидно, что $H_н + H_п$ – полный напор, сообщаемый инжектируемой шахтной воде, а $H_в - H_н$ – потери напора рабочей воды в гидроэлеваторе.

К.п.д. гидроэлеватора η определяется как отношение полезной мощности $N_{пол}$, создаваемой гидроэлеватором, к мощности, затрачиваемой $N_{затр}$ им. Поэтому согласно работе [21] к.п.д. гидроэлеватора определяется по формуле

$$\eta = \frac{Q_п}{Q_в} \cdot \frac{H_п + H_н}{H_в - H_н} .$$

Для расчета к.п.д. гидроэлеватора необходимо вычислить коэффициент подмешивания β и знать величины напора на входе $H_в$ и выходе $H_н$ гидроэлеватора и во всасывающем партубке $H_п$. Для вычисления коэффициента подмешивания необходимо замерить расходомерами расходы воды на входе и выходе гидроэлеватора.

Для расчета к.п.д. гидроэлеватора Г-600 были проведены измерения расходов и напоров при различных режимах работы, что осуществлялось путем изменения сопротивления сети за гидроэлеватором при помощи задвижки. В результате получены экспериментальные точки на графике зависимости к.п.д. гидроэлеватора от расхода шахтной воды. По методу наименьших квадратов находим апроксимирующую функцию, график которой вместе с экспериментальными точками представлен на рис.П.4.2.

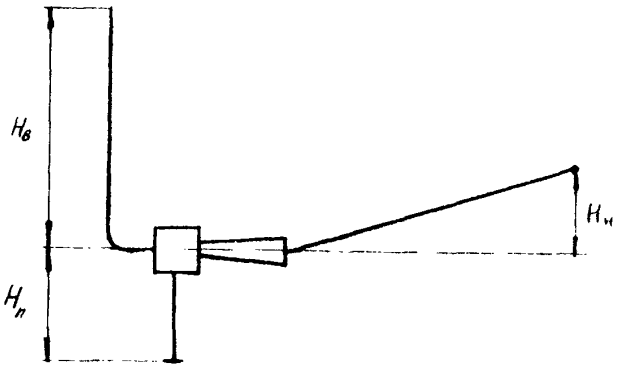


Рис.П.4.I. Упрощенная схема сети с гидроэлеватором:
$H_в$ - напор воды, поступающей из пожарно-оросительного отава;
$H_н$ - напор на выходе гидроэлеватора;
$H_п$ - высота всасывания шахтной воды

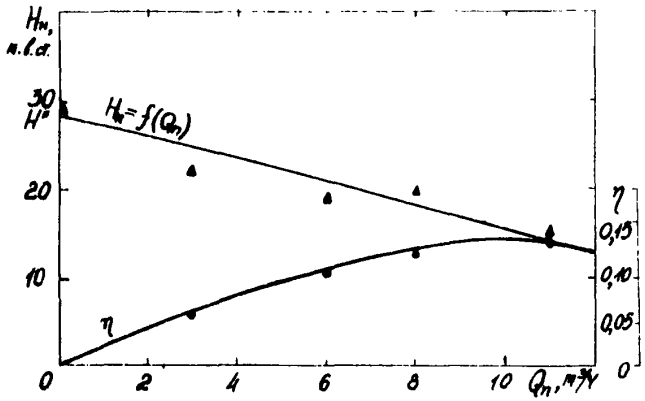


Рис.П.4.2. Графики к.п.д. и напорной характеристики гидроэлеватора

Для расчета геометрических размеров гидроэлеватора примем следующие исходные данные: напор на входе в гидроэлеватор (зависит от глубины горизонта) $H_в$ = 800 м; напор на выходе гидроэлеватора $H_н$ = 150 м; расход воды на выходе гидроэлеватора (должен совпадать с расчетным на данную пожарно-оросительную сеть) $Q_н = Q_в + Q_п$ = 110 м^3/ч; диаметр выходного сечения диффузора (связан с диаметром пожарно-оросительного трубопровода) $d_с$ = 100 мм

1. Определяем отношение $f_{гор} / f_{сеч}$ по формуле (3.26). Предварительно находим $H_в / H_н = 800/150 = 5{,}33$.

$$(f_{гор} / f_{сеч})_{опт} = 0{,}880 \cdot 5{,}33 = 4{,}69.$$

2. Определяем сечение $f_{сеч}$ по формуле (3.27).

Решая уравнение (3.25), предварительно находим коэффициент инжекции β, а по табл.3.6 определяем коэффициенты a_1, a_2, a_3 (выбирается строка с близким значением отношения $f_{гор} / f_{сеч}$, т.е. $f_{гор} / f_{сеч} = 5$).

$$H_н / H_в = (H_в / H_н)^{-1} = (5{,}33)^{-1} = 0{,}1876.$$

$$a_1 = 0{,}2700;\ a_2 = 0{,}0607;\ a_3 = 0{,}0084.$$

$$0{,}1876 = 0{,}2700 - 0{,}0607\beta - 0{,}0084\beta^2.$$

$$0{,}0084\beta^2 + 0{,}0607\beta - 0{,}0824 = 0;$$

$$\beta^2 + 7{,}226\beta - 9{,}809 = 0.$$

$$\beta_{1,2} = -3{,}613 \pm \sqrt{13{,}05 + 9{,}809} = -3{,}613 \pm 4{,}782;$$

$$\beta_1 = -8{,}395 < 0 \text{ — не подходит;}$$

$$\beta_2 = 1{,}168.$$

Расход рабочей воды $Q_в = \frac{Q_н}{1+\beta} = \frac{110}{1+1{,}168} = 50{,}7$ м^3/ч.

Значит, $f_{сеч} = 66 \cdot \frac{50{,}7}{\sqrt{800}} = 118{,}31$ мм^2.

3. Определяем диаметр рабочего сопла по формуле (3.28):

$$d_{con} = 12,29 \approx 12,3 \text{ мм}.$$

4. Определяем диаметр горловины (камеры смешения) по формуле (3.29):

$$d_{гр} = \frac{12,3}{\sqrt{(4,69)^{-1}}} = 26,64 \approx 27 \text{мм}.$$

5. Определяем расстояние от выходного сечения сопла до входа в камеру смешения по формуле (3.30); коэффициент берем осредненный из рекомендуемых, т.е. I,25

$$l_c = 1,25 \cdot 27 = 33,75 \approx 34 \text{мм}.$$

6. Определяем длину цилиндрической камеры смешения по формуле (3.3I) для впереди стоящего коэффициента выбираем среднее значение, т.е. берем 8.

$$l_к = 8 \cdot 27 = 216 \text{ мм}.$$

7. Определяем длину диффузора по формуле (3.32); диаметр выходного сечения d_c = I00 мм; осредняем значение коэффициента, берем 6,5.

$$l_д = 6,5 \cdot (100 - 27) = 474,5 \text{ мм}.$$

Приложение 5

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В РЕКОМЕНДАЦИЯХ ПО ОЧИСТКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ШАХТНЫХ ВОД ДЛЯ ПОЖАРНО-ОРОСИТЕЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Наименование оборудования	Разработчик	Проектировщик	Завод-изготовитель
Установка по очистке и обеззараживанию шахтной воды на поверхности	ДонУГИ	Донецкая проектная контора МУП УССР	Экспериментальный завод ДонУГИ
Установка по нейтрализации и очистке кислых шахтных вод	ДонУГИ	Краснодучская проектная контора МУП УССР	Экспериментальный завод ДонУГИ
Установка по очистке и обеззараживанию шахтной воды в подземных условиях	П/о "Ростонуголь"	Юггипрошахт	Артемовский рудоремонтный завод
Пожарные насосы типа ЦНС, МСК, МС	ИГМ им.Федорова		Ясногорский машиностроительный завод
Гидроэлеватор	ИГМ им.Федорова		РМЗ угольных объединений

ЛИТЕРАТУРА

I. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. - М.: Недра, 1976. - с.431.

2. Указания по проектированию трубопроводов, прокладываемых в подземных выработках угольных и сланцевых шахт. - М.: Минуглепром СССР, 1974. - 74 с.

3. Козлюк А.И. Водоснабжение угольных шахт для борьбы с пожарами и пылью. - М.: Недра, 1979. - 287 с.

4. О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов Черного и Азовского морей. - Правда, 1976, 4 февр.

5. Технологические схемы очистки шахтных вод. - Пермь: НИИОСуголь, 1977. - 53 с.

6. Новоселов Н.П., Буторин Н.Н. Определение экономической эффективности строительства сооружений по очистке шахтных сточных вод. - Шахтное строительство, 1976, № 5, с.13-14.

7. Методика определения экономической эффективности использования в угольной промышленности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: ЦНИЭИуголь, 1979, - 120 с.

8. Монгайт И.Л., Текиниди К.Д., Николадзе Г.Н. Очистка шахтных вод. - М.: Недра, 1978. - с.45-59.

9. Сеник К.А. Определение нормального расхода электроэнергии на рудничный водоотлив - В кн. Вопросы горной электромеханики. Вып.I. М., Недра, 1969. - с.201-210.

10. Очистка и обеззараживание шахтной воды в подземных условиях / Посыльный И.Д., Торский П.Н., Кашкарев М.А. и др./ Ростов-на-Дону, Ростовское книжное издательство, 1972, 54 с.

11. Стационарные установки шахт / Под общей ред.Б.Ф.Братченко/, М.: Недра, 1977. - 440 с.

12. Справочник по гидравлике, Киев: Вища школа, 1977. - с.53.

13. Иванов Е.Н. Расчет и проектирование систем пожарной защиты. - М.: Химия, 1977.

14. Шевелев Ф.А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. М.: Госстройиздат, 1953. - 142 с.

I5. Богомолов Н.А. Закономерность изменения режимов работы шахтных водоотливных установок в процессе эксплуатации. - В кн. Шахтные стационарные установки. М.: Недра, I972, вып.26,с.I2-I4.

I6. Автоматизированная установка для очистки шахтных вод / Проспект/ ЦБНТИ Минуглепрома УССР. - Разраб.ДонУГИ. - Донецк, I975. - 2 с.

I7. Технико-экономическая эффективность использования очищенных шахтных вод для борьбы с пожарами и пылью на угольных шахтах / Хмель Н.С., Гринь Г.В., Гавриш Ю.В., Казимиренко Т.В. / В кн. - Предупреждение экзогенных пожаров и автоматическая защита шахт и открытых разработок. - Донецк, ВНИИГД, I978, с.27-28.

I8. Хмель Н.С. Шахтные воды - резерв пожарного водоснабжения и комплексного обеспыливания. - Уголь Украины, I979, № I2, с.3I-32.

I9. Хмель Н.С., Гавриш Ю.В. Исследование рациональных режимов работы системы насос-шахтный пожарный трубопровод. - В кн. Способы и средства ведения горноспасательных работ. Донецк, ВНИИГД, I979, вып.I6, с.79-8I.

20. Аминов А.С. Нейтрализация кислых шахтных вод в подземных условиях. - Уголь Украины, I978, № 9, с.35-37.

2I. Турк В.И. Насосы и насосные станции. - М., Госстройиздат, I957. 320 с.

22. Соколов Е.Я. Зингер Н.М. Струйные аппараты. - М.: Энергия, I970. - 285 с.

23. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. М.: Стройиздат, I975, 326 с.

24. Аминов А.С. Нейтрализация кислых шахтных вод в Донбассе. - Уголь, I980, № 5, с.43-46.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
В в е д е н и е	3
I. Использование шахтных вод как источника водоснабжения	5
2. Схемы использования шахтных вод с применением очистных сооружений	I6
2.I. Схема использования шахтных вод с очисткой на поверхности	I6
2.2. Схема использования шахтных вод с очисткой в подземных условиях	I9
2.3. Схема использования кислых шахтных вод для пожарно-оросительного водоснабжения шахт	2I
2.4. Схема использования шахтных вод с применением гидроэлеваторов	25
3. Расчет и выбор технологических схем подключения шахтного водоотлива к пожарно-оросительной сети	29
3.I. Основные требования к подземным насосным станциям пожарно-оросительного водоснабжения	29
3.2. Расчет оптимального диаметра пожарного трубопровода при совместной работе с насосом	34
3.3. Изменение режима работы насосов в процесе эксплуатации	44
3.4. Расчет оптимальных рабочих параметров гидроэлеватора и пожарно-оросительного трубопровода	46
Приложение I. Пример расчета выбора места расположения очистного сооружения	56
Приложение 2. Пример расчета подземной пожарной насосной станции и пожарно-оросительного трубопровода	57
Приложение 3. Пример расчета изменения режима работы пожарного насоса	60
Приложение 4. Пример расчета геометрических размеров и к.п.д. гидроэлеватора	62
Приложение 5. Перечень оборудования, используемого в рекомендациях по очистке и использованию шахтных вод для пожарно-оросительного водоснабжения	67
Л и т е р а т у р а	68

Рекомендации разработали кандидаты техн.наук Н.С.Хмель, Г.В.Гринь, инженер Ю.В.Гаврин

Ответственный за выпуск
М.В.Колышенко

Редактор Н.И.Антипова

БП II094. Подписано к печати 2.I2.80 г. Формат 60x90 1/16
Объем 4,5 печ.л. Тираж I50 Заказ I908
ВНИИГД. 340048, Донецк, Артема,I57

gost.e-ecolog.ru