УДК 622.53 (035.5)

О.В.КАБАНОВ, Д.А.ЗАДКОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*),
С.О.КАБАНОВ
Завод энергозащитных устройств,
Санкт-Петербург

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТУПЕНЧАТЫХ РУДНИЧНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК БЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ВОДОСБОРНИКОВ

Для определения режимов работы ступенчатых рудничных водоотливных установок без промежуточных водосборников следует определить режимные параметры последней ступени и использовать их в качестве входных при расчете предыдущей ступени. Для обеспечения заданных режимов работы всей установки необходимо изменить характеристики трубопроводов или насосов.

For determination state of working ступенчатых mining водоотливных of the installation without intermediate водосборников follows to define the режимные parameters last step and use their as input at calculation previous step. For ensuring given state of working whole installation necessary to change the features a pipe line or pump

При значительной высоте подъема воды на многих горных предприятиях водоотливные установки содержат несколько насосных станций, состоящих из параллельно включенных центробежных насосов.

Насосные станции находятся на разной высоте и расположены на значительном расстоянии (рис.1).

При традиционном проектировании рудничных водоотливных установок каждая насосная станция имеет водосборник, из которого вода поступает в насосы. Все станции, за исключением последней, откачивают воду в промежуточные водосборники.

Водосборники, как правило, имеют большие размеры и мешают проведению горных работ. Кроме того каждая насосная станция должна быть снабжена системой слежения за уровнем воды в водосборнике, системой запуска, системой защиты и системой сигнализации. Исключение промежуточных водосборников освобождает водоотливные установки от указанных недостатков, однако насосные станции, состоящие из параллельно работающих насосов, должны быть включены последовательно. Блок-схема такой установки представлена на рис.2.

Напор H_3 в конце трубопровода предыдущего (первого) участка определяется суммой высоты установки станции следующей (второй) ступени и напора H_3' на входе в насосы этой ступени.

Напор насосов в данном случае является параметром, величина которого зависит от режима работы, конструктивных и технологических факторов, определяющих работу водоотливной установки.

Если за линию отчета принят уровень водосборника первой ступени, то математическое описание установки может быть представлено системой, включающей уравнения насосов и уравнения трубопроводов,

$$\acute{I}_2 = \acute{I}_1 + \grave{A}_{11} + \grave{A}_{21}\frac{Q}{k_1} + \grave{A}_{31}\left(\frac{Q}{k_1}\right)^2; \quad (1)$$

$$\acute{I}_2 = Z + H_3' + \left(\frac{Q}{L_1}\right)^2 \hat{A}_1; \quad (2)$$

$$\acute{I}_4 = Z + H_3' + \grave{A}_{12} + \grave{A}_{22}\frac{Q}{k_2} + \grave{A}_{32}\left(\frac{Q}{k_2}\right)^2; \quad (3)$$

$$\acute{I}_4 = H_5 + \left(\frac{Q}{L_2}\right)^2 \hat{A}_2 - Z - H_3'; \qquad (4)$$

$$\eta_1 = C_{11} + C_{21}\frac{Q}{k_1} + C_{31}\left(\frac{Q}{k_1}\right)^2 + C_{41}\left(\frac{Q}{k_1}\right)^3; \quad (5)$$

$$\eta_2 = C_{12} + C_{22}\frac{Q}{k_2} + C_{32}\left(\frac{Q}{k_2}\right)^2 + C_{42}\left(\frac{Q}{k_2}\right)^3, \quad (6)$$

где $\acute{I}_1$ и $\acute{I}_2$ – напоры на входе и выходе первой ступени; $\acute{I}_3'$ и $\acute{I}_4$ – тоже для второй ступени; $\acute{I}_5$ – напор в точке слива; Z – геодезическая высота установки второй ступени относительно линии отсчета; k_1, k_2 – число параллельно включенных центробежных насосов, работающих на первой и второй ступенях; L_1, L_1 – число параллельно включенных трубопроводов первой и второй ступеней водоотлива; η_1, η_2 – КПД насосов первой и второй ступеней; $\grave{A}_{ij}$, C_{ij} – коэффициенты, определяемые конструкцией насосов, i – число параллельно включенных насосов, j – число последовательно включенных станций; $\hat{A}_1$, $\hat{A}_2$ – постоянные трубопроводов первой и второй ступеней.

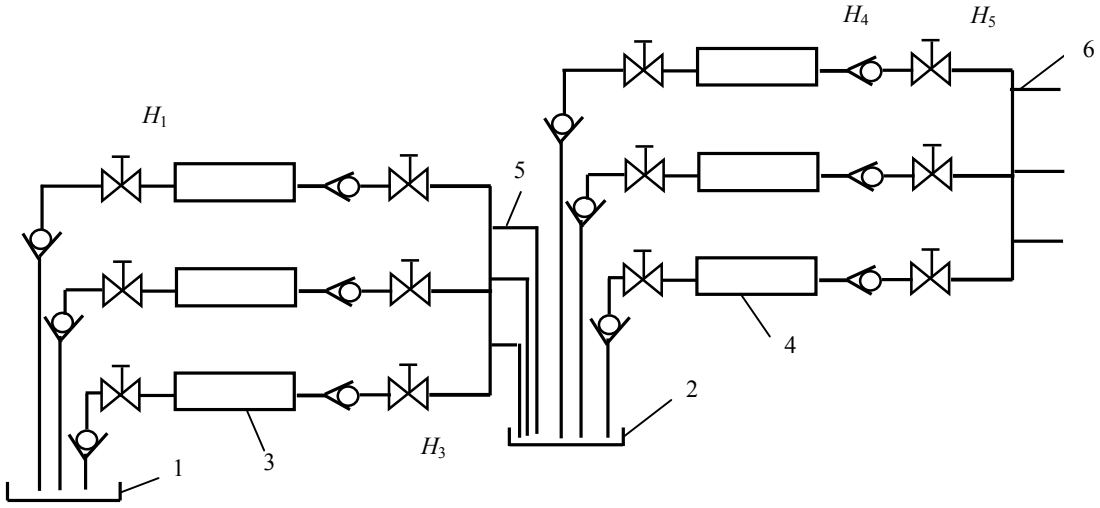


Рис.1. Блок-схема ступенчатой водоотливной установки

1 – нижний водосборник; 2 – верхний водосборник; 3 и 4 – насосы первой и второй ступеней; 5 – трубопровод первой ступени; 6 – трубопровод второй ступени

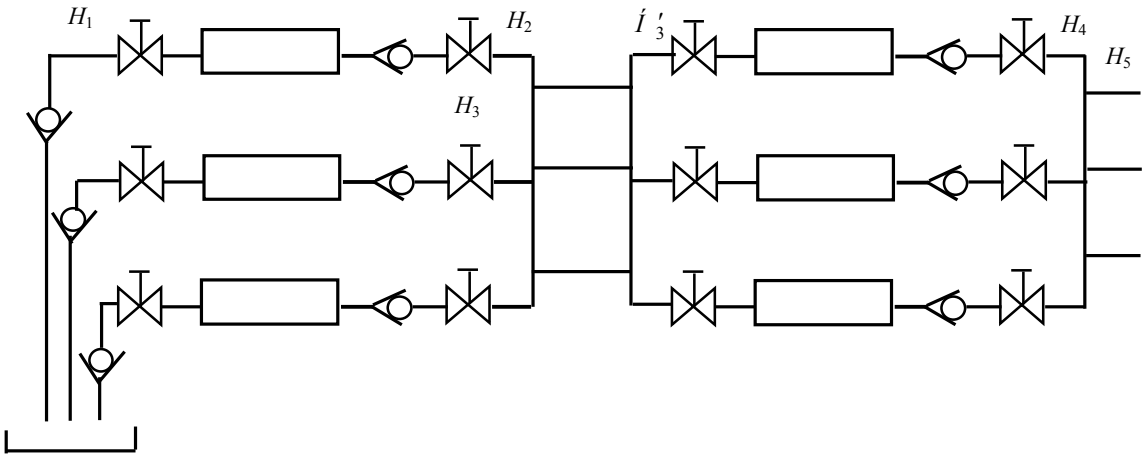


Рис.2. Блок-схема водоотливной установки с последовательным включением двух насосных станций

Система уравнений (1)-(6) показывает, что как объект проектирования и управления водоотливная установка находится по действием факторов и параметров, которые в зависимости от постановки задачи могут функционально меняться местами (рис.3)

Если в качестве факторов принять число параллельно включенных трубопроводов (L_1, L_2), число параллельно включенных центробежных насосов (k_1, k_2), суточный водоприток ($Q_{\text{пр}}$) и постоянные трубопроводов (B_1, B_2), то параметрами будут величины t, $\acute{I}\,'_3$, $\acute{I}_2$, $\acute{I}_4$, $Q_{\text{р}}$, где t – время откачки суточного притока, $Q_{\text{р}}$ – фактическая подача водоотливной установки.

Получаемые значения регламентируемых параметров (t, $\acute{I}\,'_3$) должны удовлетворять принятым нормам*. Если это условие не обеспечивается, то один из параметров, например $\acute{I}\,'_3$ можно использовать в качестве фактора и определить одну из входных величин, например B_1.

Статические характеристики двухступенчатой насосной установки представлены на рис.4.

Если известны типы насосов, их количество k_1, k_2, постоянные трубопроводов $\hat{A}_1$, $\hat{A}_2$, количество трубопроводов L_1, L_2 и высота установки насосов второй ступени Z, то в системе уравнений (1)-(4) четыре неизвестных – $\acute{I}_2$; Q; $\acute{I}\,'_3$; $\acute{I}_4$, которые можно определить при решении системы. При этом напор $\acute{I}\,'_3$ должен находится в заданном диапазоне, так как в этом случае насосы второй ступени не требуют заливки при пуске, что упрощает систему управления водоотливом и увеличивает надежность работы.

Рабочая подача насосов $Q_{\text{р}}$ должна отвечать условию*

$$\frac{24Q_{\text{ïð}}}{Q_{\text{р}}} \le 20.$$

* *Попов В.М.* Водоотливные установки: Справочное пособие. М.: Недра, 1990.

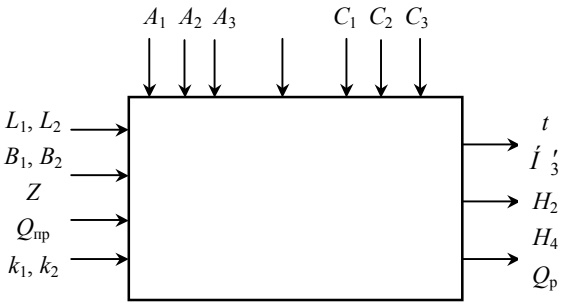


Рис.3. Модель «черный ящик» для ступенчатого водоотлива

Если это условие не выполняется, то следует изменить число насосов или число работающих трубопроводов на первой или второй ступенях водоотлива.

При предварительных расчетах можно задать $Q_{\text{р}}$ и H'_3, и решая систему уравнений (1)-(4) определить число насосов k_1 и k_2 на первой и второй ступенях. Полученные значения k_1 и k_2 следует округлить до ближайшего большего целого.

Когда состав насосной установки определен, целесообразно определить рабочую подачу $Q_{\text{р}}$ для последней ступени как точку пересечения кривых 1 и 2 (рис.4) или из уравнений (3)-(4). Если подача предыдущей насосной станции Q_1 не равна $Q_{\text{р}}$ (рис.4), то необходимо изменить постоянную трубопроводов (кривая 3) или напорную характеристику насосов (кривая 4) путем изменения частоты вращения приводных валов.

В первом случае значительно увеличиваются затраты на электроэнергию, так как преодолеваемый напор увеличивается на величину $H_{\text{р3}} - H_{\text{р1}}$ (рис.4), а во втором увеличиваются капитальные затраты на приобретение и установку устройства изменения частоты вращения, но уменьшаются затраты на электроэнергию, поскольку $H_{\text{р1}} > H_{\text{р2}}$ и увеличивается время межремонтных периодов.

Годовой расход электроэнергии можно определить из соотношения

$$E = \rho g 24 Q_{\text{ïð}} \left(\frac{H_2 - H_1}{\eta_1} + \frac{H_4 - H'_3}{\eta_2} \right).$$

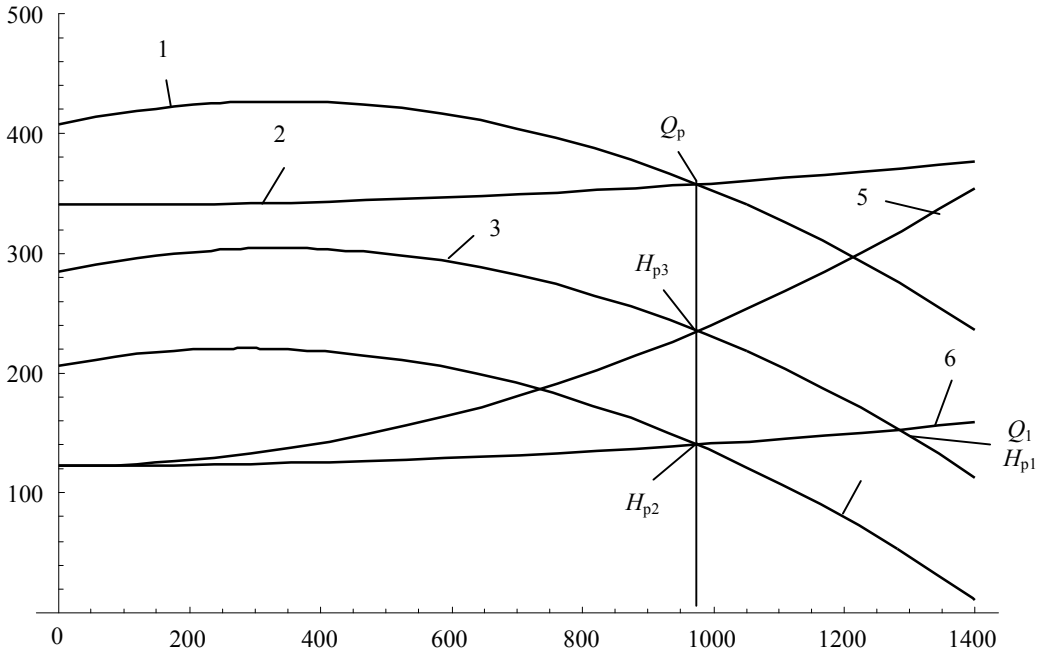


Рис.4. Характеристики двухступенчатой насосной установки

1 – напорная характеристика насосов второй ступени; 2 – характеристика сети второй ступени; 3 – естественная напорная характеристика насосов первой ступени; 4 – регулировочная напорная характеристика насосов первой ступени; 5 – регулировочная характеристика сети второй ступени; 6 – естественная характеристика сети второй ступени

$Q_р$ – рабочий режим, Q_1 – расчетная подача первой ступени

Предложенный метод расчета ступенчатого водоотлива обеспечивает:

- исключение промежуточных водосборников;
- определение числа насосов без использования априорной информации;
- работу насосов второй и последующей ступеней с подпором;
- упрощение системы пуска и повышение надежности работы ступенчатых рудничных водоотливных установок.