

## К ВОПРОСУ РЕАЛИЗАЦИИ ВНЕПИКОВОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ШАХТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Угольников А. В., Петровых Л. В.

*ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail: ugolnikov@yandex.ru*

В последнее время создание и эксплуатация систем автоматического управления (САУ) шахтными водоотливными установками основывается на непрерывно контролируемом уровне воды в водосборнике. От величины уровня зависит включение и отключение насосных агрегатов (НА). Независимо от электрической части САУ для этих целей обычно используются электродные датчики нижнего, верхнего и аварийного уровней. Большой проблемой на шахтном водоотливе является создание систем автоматического управления, надежность их функционирования и организация постоянного контроля объемов воды. Для эффективного решения этой проблемы необходимо определение зависимостей текущих уровней воды в водосборнике в функции времени и притоков как в периоды накопления воды (при отключенных НА), так и в периоды удаления (при работающих НА). Решением задачи усовершенствования шахтного водоотлива является – применение САУ насосными агрегатами, в основе построения которых лежат математические уравнения. Также, для достижения усовершенствования шахтного водоотлива необходимо наличие избыточных гидравлических мощностей, в том числе и для насосного оборудования. Поставленная задача, в данной статье, приведет к эффективной реализации внепикового электропотребления при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах. Однако результативное решение возможно только при комплексном рассмотрении этой задачи.

Ключевые слова: шахтный водоотлив, внепиковое электропотребление, водосборник.

## TO A QUESTION OF REALIZATION OF AN OFF-PEAK POWER CONSUMPTION ON MINE WATER OUTFLOW

Ugolnikov A.V., Petrovykh L.V.

*Ural state Mining University, Yekaterinburg, Russia (620144, Yekaterinburg, street Kuibyshev, 30), e-mail: ugolnikov@yandex.ru*

Lately creation and exploitation of systems of automatic control (SAC) by mine water-removing installations is based on incessantly controlled water level in a catchment basin. Turning on and shutdown of the pumping units (PU) depends on the level of water. Electrode sensors of the lower, top and emergency levels are usually used for these purposes independently of electric part of SAC. A huge problem on mine water outflow is a creation of systems of automatic control, reliability of their functioning and the organization of a constant control of water capacity. The effective solution of this problem requires determination of dependences of the current water levels in a catchment basin of time of inflows, as during the water accumulation periods (at disconnected PU), so during the removal periods (at connected PU). The solution of a problem of improvement of mine water outflow is an application of SAC pumping units which are based on the mathematical equations. Also, for achievement of improvement of mine water outflow it is needed an existence of excess hydraulic capacities, including the pump equipment. The considered task in this article will lead to effective realization of an off-peak power consumption at the minimum capital and operational expenditure. However, the productive decision is possible only by full consideration of this task.

Keywords: mine water outflow, off-peak power consumption, catchment basin.

В сложившейся практике создания и эксплуатации систем автоматического управления (САУ) шахтными водоотливными установками основой является непрерывно контролируемый уровень воды в водосборнике, от величины которого осуществляется включение и отключение насосных агрегатов (НА). Независимо от электрической части САУ для этих целей обычно используются электродные датчики уровня: нижнего  $H_n$ , верхнего  $H_v$  и аварийного  $H_A$ .

Многолетняя практика создания и эксплуатации таких систем (от релейно-контактных в прошлом до современных бесконтактных) показала их высокую надежность и простоту реализации.

Однако для целей реализации внепикового электропотребления на шахтном водоотливе обычно предлагается построение систем автоматического управления НА в зависимости от объемов воды в водосборнике [1,2], что усложняет создание таких систем и снижает надежность их функционирования по причине затруднений, связанных с организацией постоянного контроля объемов воды. Так как практически все САУ водоотливными установками функционируют от уровня воды в водосборнике, то очевидно, что при реализации ими внепикового электропотребления отходить от этого базового принципа нецелесообразно.

Однако для его реализации необходимо установление зависимостей текущих уровней воды в водосборнике функции времени и притоков как в периоды накопления воды (при отключенных НА), так и в периоды удаления (при работающих НА).

С учетом произвольной конфигурации сечений водосборников зависимость уровня в них воды в функции времени  $H(t)$  при заполнении рабочей емкости (от датчика  $H_N$  до  $H_B$ ) может быть выражена следующим образом

$$H(t) = C_0 + C_1 \cdot (Q_{\text{пр}} \cdot t) + C_2 (Q_{\text{пр}} \cdot t)^2, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  – приток воды в водосборнике (принимается постоянным внутри каждого цикла работы водоотлива);  $C_0, C_1, C_2$  – постоянные для конкретного водосборника величины.

В начальный момент времени при  $t = 0$  значение постоянной  $C_0 = H(t=0)$ , т. е. оно должно соответствовать уровню нижнего датчика.

При включении насосного агрегата (или нескольких) в работу и освобождении рабочей емкости водосборника от воды зависимость

$$H(t) = C_3 - C_4 \cdot (Q_N - Q_{\text{пр}}) \cdot t - C_5 [(Q_N - Q_{\text{пр}}) \cdot t]^2, \quad (2)$$

где  $Q_N$  – подача насосного агрегата (или нескольких, включенных в параллельную работу);  $C_3, C_4, C_5$  – постоянные для конкретного водосборника величины.

В начальный момент времени при  $t = 0$  значение постоянной  $C_3 = H(t=0)$ , т. е. оно должно соответствовать уровню верхнего датчика.

При построении системы автоматического управления НА значения постоянных  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$  и  $C_5$  определяются на основе фиксированных (замеренных) значений  $H(t), H_N, H_B, Q_{\text{пр}}, Q_N, t$  и затем вводятся в блок задания системы в соответствии с уравнениями (1) и (2).

Графическая интерпретация этих уравнений представлена на рисунке (уравнение (1) – (б-в); (г-д); (е-ж); (з-и) и уравнение (2) – (а-б); (в-г); (д-е); (ж-з); (и-а)), на котором представлена также графическая иллюстрация процесса суточного внепикового электропотребления на шахтном водоотливе в функции уровня воды в водосборнике при двух максимумах нагрузки в энергосистеме –  $T_{\text{мн}(1)}$  и  $T_{\text{мн}(2)}$ . Как следует из этого САУ шахтными водоотливными установками должна обеспечивать реализацию внепикового электропотребления на основе соответствующего изменения уровня воды в водосборнике (линия *а-б-в-г-д-е-ж-з-и-а*) в течение суток при условии  $Q_{\text{пр}}=\text{const}$  и полного освобождения рабочей емкости водосборника от воды к началу максимума нагрузки в энергосистеме.

Главным при этом является установление момента включения насосных агрегатов (одного или нескольких в зависимости от потребности) в предпиковый период энергосистемы (ЭС).

Основой для этого является уравнение (2) и постоянно контролируемый уровень воды  $H(t)$ , введенные в программу САУ. На рисунке зависимость  $H(t)$  при работающих НА представлена линиями *в'-в-г* и *ж'-ж-з*.

Если совместить концы этих линий с началом периода максимума ЭС (точки 2 и 3), то при любом текущем значении  $H(t)$  решение уравнения (2) позволит определить необходимый момент включения насосных агрегатов в работу (на рисунке это моменты  $t_{\text{вк}(1)}$  и  $t_{\text{вк}(2)}$ ). Необходимое время работы насосных агрегатов определится как разность начального времени пика в ЭС и времени включения агрегатов, т. е.  $t_{\text{раб}} = T_{\text{мн}} - t_{\text{вк}}$ . При этом время цикла водоотлива в предпиковый период составит  $T_{\text{ц}} = T_{\text{з}} + t_{\text{раб}}$ , ( $T_{\text{ц}}'' = T_{\text{з}}'' + t_{\text{раб}}''$ ).

Объем удаленной за время  $t_{\text{раб}}$  воды из водосборника

$$V_{\text{уд}} = Q_{\text{н}}(t_{\text{мн}} - t_{\text{вк}}) = \int_{t_{\text{вк}}}^{T_{\text{мн}}} Q_{\text{пр}} \cdot dt + V_{\text{вк}} - V_{\text{доп}}, \quad (3)$$

Где  $V_{\text{вк}}$  – объем воды в рабочей емкости водосборника соответствующий моменту включения НА;  $V_{\text{доп}}$  – минимально допустимый объем воды в водосборнике в начале периода максимума нагрузки в ЭС.

Приведенные соображения справедливы для условия постоянства величины  $Q_{\text{пр}}$  внутри принятого цикла работы водоотлива (суточного, недельного, месячного и др.). При переменном притоке в систему автоматического управления должны вноситься соответствующие коррективы. Для этого может быть использован коэффициент  $K$ , численно равный отношению времени рабочего цикла  $T_{\text{ц}}$  к времени заполнения рабочей емкости водосборника  $T_{\text{з}}$ , т. е.

$$K = \frac{T_{ц}}{T_3} = \frac{V_{раб}/Q_{пр} + V_{раб}/(Q_{н} - Q_{пр})}{V_{раб}/Q_{пр}}. \quad (4)$$

Очевидно, что с изменением величины  $Q_{пр}$  будет изменяться и величина  $K$  и соответствующим образом и моменты времени  $t_{вк}$ , что и должно входить в задачу отслеживания САУ. Поэтому при переменном притоке на водоотливе перед каждым периодом максимума нагрузок в ЭС в САУ должна поступать информация о средней величине  $Q_{пр}$  для расчета коэффициента  $K$ .

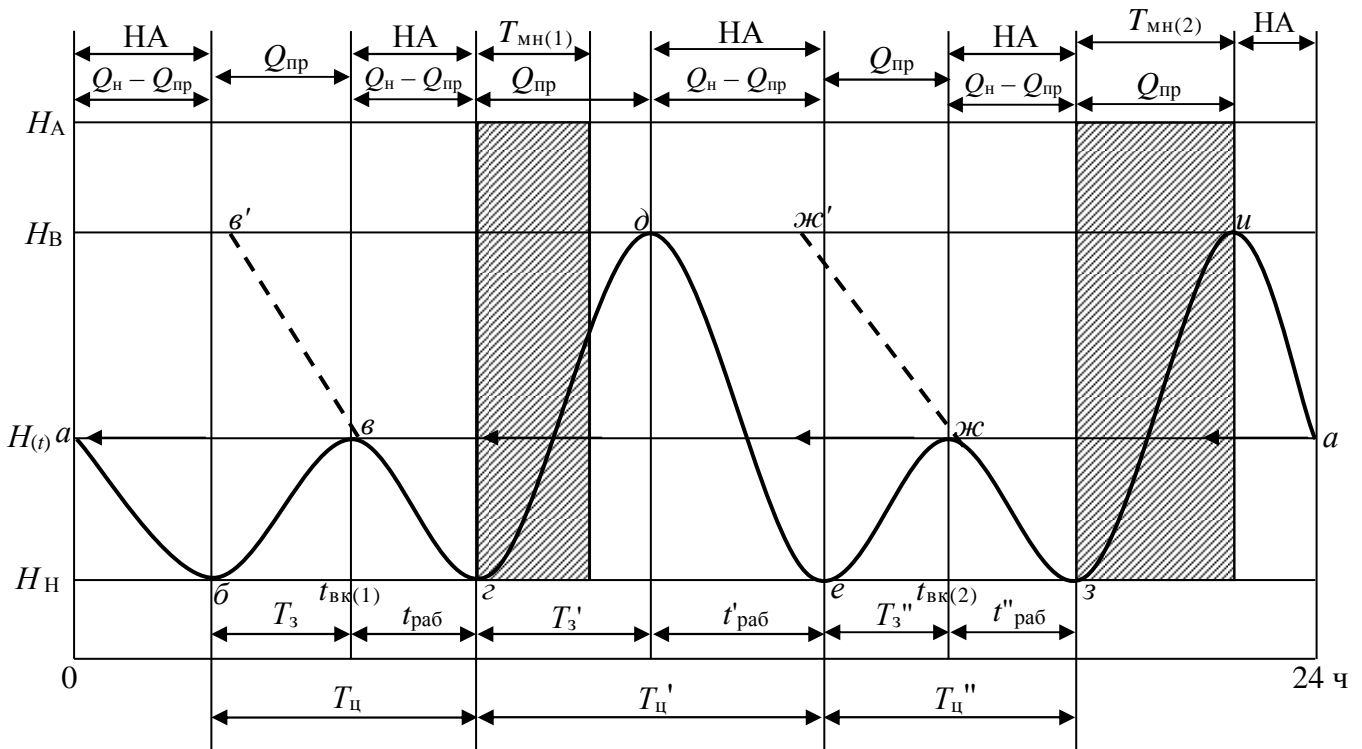


Рис. 1. Изменение уровня воды в водосборнике в течение суток

Таким образом, уравнения (1–4) могут быть положены в основу построения САУ насосными агрегатами шахтного водоотлива в функции уровня воды в водосборнике, что создаст условия для наиболее простой и эффективной реализации внепикового электропотребления. Однако, как показывает практика, для достижения этого необходимо еще наличие избыточных гидравлических мощностей, в том числе и насосного оборудования (т. е. при установке завышенного числа насосных агрегатов или увеличения их единичной мощности) по сравнению с требованиями Правил Безопасности. Однако во многих случаях этого можно избежать за счет, например, использования насосов с повышенной избыточной напорностью [3]. С учетом пологопадающих напорных характеристик центробежных насосов и пологопадающих напорных характеристик шахтных трубопроводных сетей, когда даже незначительное увеличение избыточного напора насосов может привести к значительному увеличению их подачи, разность  $(Q_{н} - Q_{пр})$  может оказаться достаточной для

эффективной реализации внепикового электропотребления при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

### Список литературы

1. Автоматизация производственных процессов угольных шахт. – Киев: «Вища школа», 1978. – 336 с.
2. Тимошенко Г. М. Научные основы проектирования и эксплуатации насосных установок в переходных режимах. – Киев; Донецк: «Вища школа», 1986. – 127 с.
3. Петровых Л. В. К вопросу обоснования величины избыточной напорности шахтных центробежных насосов. Материалы Уральской горнопромышленной декады. – Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2013. – С. 346-348.
4. Тимухин С.А., Петровых Л.В. Оценка энергозатратности избыточной напорности водоотливных установок // Известия вузов. Горный журнал. – 2011. – № 5. – С. 82-86.
5. Попов В.М. Рудничные водоотливные установки. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 304 с.

### Рецензенты:

Шеклеин С.Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Атомных электростанций» Уральского федерального университета им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Кожушко Г.Г., д.т.н., профессор кафедры подъемно-транспортных машин и роботов Уральского федерального университета им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.