

ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МОЩНОСТЕЙ ВОДОСБОРНЫХ ЕМКОСТЕЙ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Угольников А. В.

В статье рассмотрены вопросы реализации внепикового электропотребления на шахтных водоотливных комплексах. Показано, что электропотребление напрямую связано с размерами водосборных емкостей и мощностью насосного оборудования. Из условия электропотребления шахтного водоотлива и формирования электрических нагрузок в условиях максимумов нагрузки в энергосистеме получена зависимость стоимости электроэнергии от объема водосборника. Анализ представленной зависимости показывает, что при снижении оплаты за электропотребление до определенного максимального значения соответствующего объема, при котором штрафные санкции минимальны или равны нулю, дальнейшее увеличение объемов водосборника нецелесообразно, поскольку зависимость стоимости электроэнергии от объема водосборника на этом участке представляет собой линию, параллельную оси абсцисс.

Ключевые слова: внепиковое электропотребление; объем водосборника; шахтные водоотливные комплексы; энергосистема.

Реализация внепикового электропотребления на шахтных водоотливных комплексах напрямую связана с размерами их гидравлических мощностей, т. е. с объемами водосборных емкостей (водосборников) и мощностей насосного оборудования, которые при проектировании (обычно) принимаются согласно требованиям правил безопасности (ПБ). В результате во многих случаях объемы водосборников оказываются недостаточными, что требует их соответствующего увеличения до некоторых оптимальных значений.

При этом необходимо учитывать эффект от перевода водоотливных установок в режим регуляторов нагрузки энергосистемы с целью формирования наиболее эффективных графиков электрических нагрузок предприятия. Все это связано с расчетом и реализацией соответствующих графиков включения и работы насосных агрегатов (НА), расположенных в насосной камере, в течение суток [1, 2, 3]. При наличии значительной избыточной гидравлической мощности водосборных емкостей организация работы водоотлива в режиме регулятора нагрузки энергосистемы (ЭС) может быть сведена к совмещению времени работы водоотливных установок с ночными провалами в суточном графике нагрузки. Однако при этом могут значительно возрасти

затраты на горнокапитальные выработки околоствольного двора, которые тоже должны быть соответствующим образом учтены.

Суточный график электрической нагрузки водоотливной насосной станции может состоять из следующих основных периодов: $\Delta T^1 = \Delta T^{YM}$; $\Delta T^2 = \Delta T^{(Y-B)}$; $\Delta T^3 = \Delta T^{BM}$; $\Delta T^4 = \Delta T^{(B-Y)}$, где ΔT^{YM} – период утреннего максимума нагрузки в ЭС; $\Delta T^{(Y-B)}$ – период от утреннего до вечернего максимума (продолжительность дневной нагрузки); ΔT^{BM} – период вечернего максимума нагрузки в ЭЭС; $\Delta T^{(B-Y)}$ – период от вечернего до утреннего максимума (продолжительность ночной нагрузки).

При планировании эффективных режимов электропотребления водоотливных насосных станций, имеющих асинхронные приводы, а следовательно, асинхронную нагрузку, необходимо в каждом периоде определять усредненные заданные значения активной $N_A(\Delta T)$ и реактивной индуктивной мощности $N_L(\Delta T)$ и рассчитывать графики работы насосных агрегатов в насосной станции, так как они формируют плановые значения показателей режимов электропотребления шахты или рудника. Эти графики должны рассчитываться для строго следующих друг за другом периодов сброса ($\Delta T^S, S = 1, 3, 5, \dots$) и насоса ($\Delta T^S, S = 2, 4, 6, \dots$) нагрузки. При этом с одной

стороны плановые значения активной и реактивной мощности рудника (шахты) должны быть согласованы с режимными ограничениями ЭС на каждый период, а с другой должны удовлетворять эксплуатационным ограничениям, вводимым на каждый промежуток ΔT и технологическим ограничениям, вводимым на периоды ΔT^S , $S = 1, 3, 5, \dots$

В общем случае при планировании эффективных режимов внепикового электропотребления рудничных водоотливных установок необходимо учитывать следующие факторы:

- технологические функции и ограничения;
- эксплуатационные ограничения (техническое состояние НА);
- режимные ограничения электропотребления предприятия и конкретного НА;
- организационно-технические функции НА;
- технологические показатели, определяющие регулировочные характеристики насосов и графики работы насосных агрегатов.

Необходимо в конечном итоге определить показатели режимов электропотребления и построить графики работы НА для следующих друг за другом периодов ΔT^S .

Рассмотрим периоды сброса нагрузки ΔT^S , $S = 1, 3, 5, \dots$. Для них режимные ограничения можно записать следующими выражениями:

$$N_A^{HA}(\Delta T^S) \leq N_A \max^{HA}(\Delta T^S); \quad (1)$$

$$N_L^{HA}(\Delta T^S) \leq N_L \max^{HA}(\Delta T^S). \quad (2)$$

Предельные значения мощности НА устанавливаются из условий обеспечения ограничений режимов электропотребления рудника (шахты), вводимых, например, ЭС на периоды ΔT^S , $S=1, 3, 5, \dots$. При благоприятных обстоятельствах появляется возможность вообще отключить рабочие НА от сети. Тогда

$$N_A^{HA}(\Delta T^S) = 0; \quad N_L^{HA}(\Delta T^S) = 0. \quad (3)$$

Данный случай является наиболее экономичным с экономической точки зрения, однако он далеко не всегда может быть реализован из-за недостаточного объема водосборников,

рассчитываемых согласно требованиям ПБ по четырехчасовому нормальному притоку воды (минимально допустимое значение). Это приводит к тому, что при достаточно длительном времени ΔT^{YM} или ΔT^{BM} , при котором водосборник переполняется, в периоде сброса нагрузки приходится включать насосные агрегаты в работу, т. е. переходить на период наброса нагрузки. Прямым следствием этого является увеличение оплаты электропотребления водоотливных установок и начисление штрафных санкций. В то же время внепиковое электропотребление должно обеспечивать минимально возможный уровень оплаты электропотребления при полном отсутствии или минимальном уровне штрафных санкций. Следовательно, для реализации этого требуется соответствующее увеличение объемов водосборников, которое, в свою очередь, связано с увеличением капитальных затрат на их строительство. Поэтому при обосновании оптимальных объемов шахтных водосборных емкостей необходимо учитывать все эти факторы.

При этом критерием оптимизации рассматриваемых объемов могут быть приведенные годовые затраты по водосборным емкостям, учитывающие как оплату за активную и реактивную индуктивную мощности (включая возможные штрафные санкции), так и капитальные затраты на дополнительные объемы водосборников. Все это предполагает необходимость установления зависимостей как эксплуатационных так и капитальных затрат, связанных с сооружением и эксплуатацией водосборных емкостей в функции их объема. С учетом сложной конфигурации шахтных водосборных емкостей и связанных с этим трудностей определения их объемов более эффективной может быть оценка строительного объема водосборника по объему размещенной в нем воды, т. е. по рабочей (регулируемой) емкости. Объем этой емкости легко может быть определен по выражению $V_p = Q_{np} t$, где Q_{np} – нормальный часовой приток; t – время заполнения рабочей емкости водосборника (от датчика нижнего до датчика верхнего уровня). При этом любое текущее значение

$V_{p(t)}$ может быть определено по соответствующему ему уровню воды в водосборнике $H_{(t)}$ – базовому параметру, постоянно контролируемому в системах автоматического управления (САУ) водоотливными установками.

Зависимость $H_{(t)} = f(V_{p(t)})$ может быть выражена следующим квадратным уравнением

$$H_{(t)} = C_0 + C_1 V_{p(t)} + C_2 (V_{p(t)})^2, \quad (4)$$

где C_0, C_1, C_2 – величины постоянные для конкретной конфигурации водосборника (они могут быть определены, например, методом наименьших квадратов на основе опытных данных по значениям $V_{p(t)}$ и $H_{(t)}$).

Решение этого уравнения относительно искомой величины $V_{p(t)}$ для конкретных условий

$$V_{p(t),1,2} = \frac{-C_1 \pm \sqrt{C_1^2 - 4C_2(C_0 - H_{(t)})}}{2C_2} \quad (5)$$

позволит для любого текущего момента времени синхронизированно с графиком электрических нагрузок в ЭЭС определять необ-

ходимые для реализации внепикового электропотребления объемы рабочей части водосборных емкостей. Подставляя в уравнение (5) значения $H_{(t)}$, соответствующие нижнему и верхнему уровням воды в водосборнике, можно определять по значениям $V_{p(t)}$ строительные объемы водосборника и решать на этой основе задачи их оптимизации. Для этого необходимо установление зависимостей оплаты за электропотребление (активное и реактивное) $C_{эл}$, капитальных затрат C_k и приведенных годовых расходов $C_{пр}$ на сооружение водосборников в функции их рабочих (регулируемых) емкостей V_p .

С учетом физики процесса электропотребления шахтного водоотлива и формирования электрических нагрузок в условиях их максимумов в ЭЭС принципиальная зависимость $C_{эл} = f(V_p)$ может быть представлена в виде ступенчатой гистограммы (1) и аппроксимирующей ее кривой (2) (рис. 1). Анализ представленной таким образом зависимости $C_{эл} =$

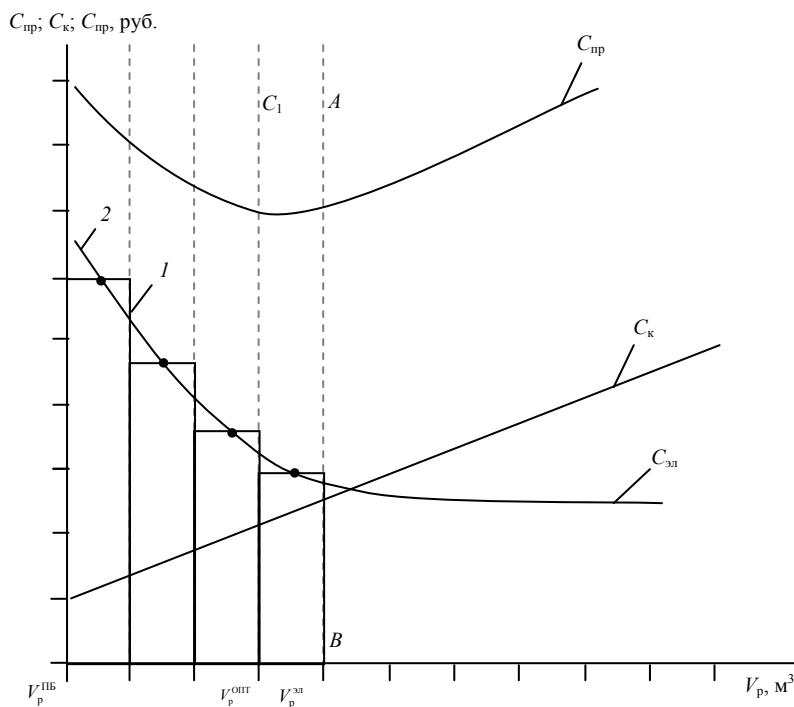


Рис. 1. Обоснование оптимальной рабочей емкости водосборника при внепиковом электропотреблении:

$V_2^{опт}$ – объем, соответствующий минимуму приведенных годовых расходов (оптимальный); $V_p^{эл}$ – объем, соответствующий минимуму оплаты за электроэнергию; $V_p^{пб}$ – объем, соответствующий ПБ

$f(V_p)$ показывает, что при снижении оплаты за электропотребление до определенного максимального значения, соответствующего $V_2^{эл}$, при

котором штрафные санкции минимальны или равны нулю, дальнейшее увеличение объемов водосборника (правее линии А–В) нецелесоо-

бразно, поскольку зависимость $C_{эл} = f(V_p)$ на этом участке представляет собой линию, параллельную оси абсцисс. Следовательно, в первом приближении искомая минимальная величина V_p , обеспечивающая внепиковое электропотребление на шахтном водоотливе, может быть найдена на основе зависимости $C_{эл} = f(V_p)$, установленной для конкретного водоотливного комплекса на стадии его проектирования или реконструкции. Однако с учетом капитальных затрат C_k и приведенных

годовых расходов $C_{пр}$ (критерий оптимизации) оптимальная величина рабочей емкости водосборника $V_2^{онт}$ будет располагаться левее линии $A-B$ (рис. 1). Таким образом, окончательный выбор величины V_p может быть сделан на основе зависимости

$$C_{пр} = C_{эл} + EC_k = f(V_p) = \min, \quad (6)$$

где E – нормативный коэффициент эффективности, полученный для конкретных условий подземного горного предприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хронусов Г. С. Формирование эффективных режимов электропотребления промышленных предприятий. Ч. 1. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1998. 340 с.
2. Праховник А. В., Розен В. Т., Дегтярев В. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. М.: Недра, 1985. 232 с.
3. Хронусов Г. С. Формирование эффективных режимов электропотребления энергоемких технологических установок горнодобывающих предприятий // Изв. вузов. Горный журнал. 1996. № 12. С. 124–131.

Поступила в редакцию 21 апреля 2015 г.

Угольников Александр Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электротехники. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: ugolnikov@yandex.ru.