

УДК 621.316.13

МНОГОУРОВНЕВАЯ ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА НАПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Д.Н. Нурбосынов, Т.В. Табачникова

Альметьевский государственный нефтяной институт
423450, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Ленина, 2

Разработан метод оптимизации уровня напряжения в иерархическом порядке: от электротехнического комплекса добывающей скважины до крупного узла электрической нагрузки. Данный метод предполагает расчет потерь электрической энергии в установившихся режимах работы промышленной подстанции, позволяющий определять потери электрической энергии на всех иерархических уровнях электрической сети одновременно. Получены новые аналитические зависимости и целевая функция, учитывающие параметры суточных графиков потребления активной и реактивной мощности. Предлагаемый метод оптимизации уровня напряжения существенно снижает трудоемкость расчетов и повышает достоверность полученных результатов, так как в качестве исходной информации используются фактические суточные графики потребления электроэнергии объектом исследования.

Ключевые слова: *целевая функция, потери электрической энергии, суточные графики активной и реактивной мощности, промышленная подстанция, узловая подстанция, электротехнические комплексы нефтегазодобывающей промышленности.*

Многоуровневая оптимизация режима напряжения и электропотребления в распределительных сетях нефтегазодобывающего предприятия необходима для определения оптимальных и рациональных значений напряжения с учетом стандарта качества электроэнергии [1]. На основании полученных значений должна производиться автоматическая стабилизация напряжения в центре питания рассматриваемого уровня системы электроснабжения [2]. В данной статье рассмотрен пример оптимизации потерь электроэнергии на одном из иерархических уровней, т. е. в распределительной электрической сети промышленной подстанции. Критерием оптимизации является минимум потерь электрической энергии.

Для достижения минимума потерь электрической энергии целевая функция в общем виде будет иметь следующий вид: $\Delta W = f(U_f, I_f, U_D, I_D, \cos \varphi_D)$. Она включает в себя переменные параметры всех уровней оптимизации системы электроснабжения нефтегазодобывающего предприятия, содержащей электротехнические комплексы добывающих скважин, отходящих линий, промышленной, узловой и районной подстанций [3, 4, 5].

За основу целевой функции потерь электрической энергии принимается разность фактического и рационального расхода электроэнергии в узле учета электрической энергии электротехнического комплекса промышленной подстанции при ограничении $t_s \leq t_r$:

Дүйсен Нурмухамедович Нурбосынов (д.т.н.), профессор кафедры «Электроэнергетика».

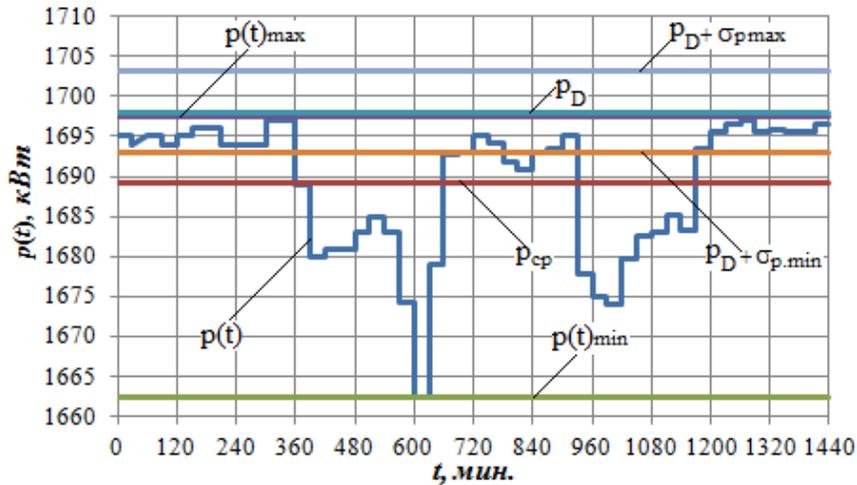
Татьяна Владимировна Табачникова (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Электроэнергетика».

$$\Delta W(t) = W(t)_f - W(t)_{rs} \rightarrow \min,$$

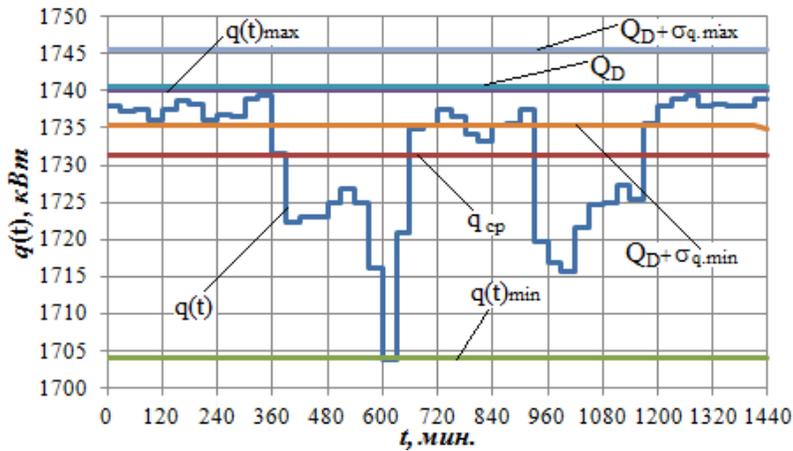
где t_s, t_r – заданный и расчетный периоды времени потребления электрической энергии; $W(t)_f$ и $W(t)_{rs}$ – массивы фактического и рационального расхода электроэнергии за полный технологический период, т. е. получасовой суточный график, полученный по одному вводу промышленной подстанции.

Целевая функция потерь электрической энергии по суточным графикам активной мощности промышленной подстанции:

$$\Delta W(t) = \int_{t_s}^{t_r} p_f(t) dt - \int_{t_s}^{t_r} p_{rs}(t) dt \rightarrow \min.$$



а



б

Рис. 1. Суточные графики мощности в центре питания:
а – активной мощности; б – реактивной мощности

Фактические суточные графики активной и реактивной мощности (рис. 1) можно представить как произведения мгновенных значений напряжения, тока и коэффициента мощности (рис. 2–5):

$$\Delta W(t) = \left[\int_{t_s}^{t_r} (U_{m_{.f}} \cos(\omega t + \psi_{u_{.f}}) \cdot I_{m_{.f}} \cos(\omega t + \psi_{i_{.f}})) \cdot dt - \right. \\ \left. - \int_{t_s}^{t_r} (U_{m_{r.s}} \cos(\omega t + \psi_{u_{r.s}}) \cdot I_{m_{r.s}} \cos(\omega t + \psi_{i_{r.s}})) \cdot dt \right] \rightarrow \min,$$

где U_{m_f} , I_{m_f} и $U_{m_{rs}}$, $I_{m_{rs}}$ – амплитудные значения фактических и рациональных уровней напряжения и тока.

Целевая функция, определяемая по действующим значениям напряжения, тока и коэффициента мощности, примет следующий вид:

$$\Delta W(t) = \int_{t_s}^{t_r} \sqrt{2}U_f \sqrt{2}I_f \cos(\omega t + \psi_{u_f}) \cos(\omega t + \psi_{i_f}) dt - \\ - \int_{t_s}^{t_r} \sqrt{2}U_{rs} \sqrt{2}I_{rs} \cos(\omega t + \psi_{u_{rs}}) \cos(\omega t + \psi_{i_{rs}}) dt \rightarrow \min.$$

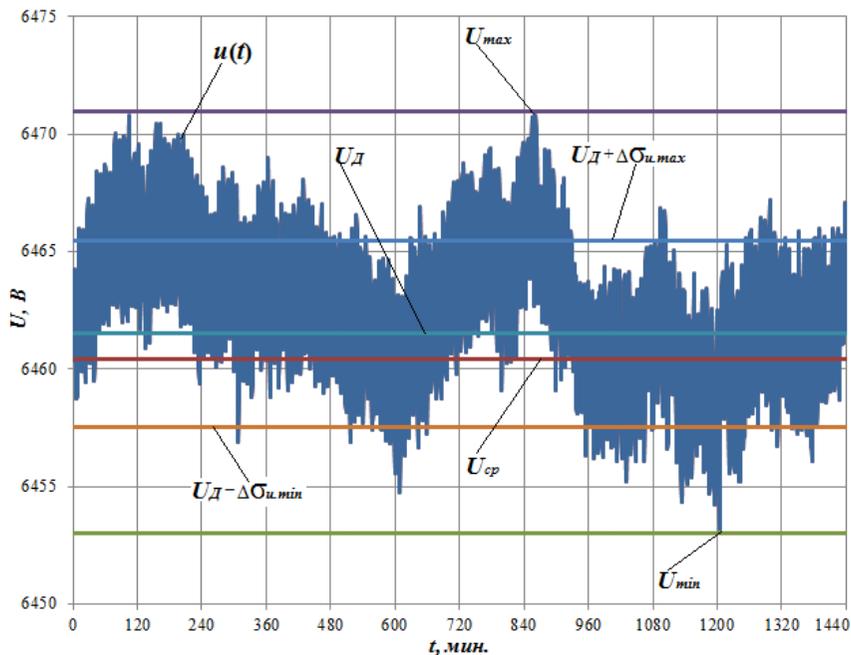


Рис. 2. Суточный график напряжения в центре питания

При представлении косинусов через сумму получим следующее:

$$\Delta W(t) = \int_{t_s}^{t_r} \sqrt{2}U_f \sqrt{2}I_f \cdot \frac{1}{2} (\cos \varphi_f + \cos(2\omega t + \varphi_f + 2\psi_{i_f})) \cdot dt - \\ - \int_{t_s}^{t_r} \sqrt{2}U_{rs} \sqrt{2}I_{rs} \cdot \frac{1}{2} (\cos \varphi_{rs} + \cos(2\omega t + \varphi_{rs} + 2\psi_{i_{rs}})) \cdot dt \rightarrow \min,$$

$$\Delta W(t) = U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi_f \cdot \int_{t_s}^{t_r} dt + U_f \cdot I_f \cdot \int_{t_s}^{t_r} \cos(2\omega t + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) \cdot dt - \\ - U_{rs} \cdot I_{rs} \cos \varphi_{rs} \cdot \int_{t_s}^{t_r} dt - U_{rs} \cdot I_{rs} \cdot \int_{t_s}^{t_r} \cos(2\omega t + \varphi_{rs} + 2\psi_{i_{rs}}) \cdot dt \rightarrow \min,$$

где U_f , I_f и $U_{rs} = U_D$, $I_{rs} = I_D$ – действующие значения фактических и заданных уровней напряжения и тока в узле коммерческого учета электрической энергии за заданный и расчетный период времени потребления электрической энергии (см. рис. 2 и 3).

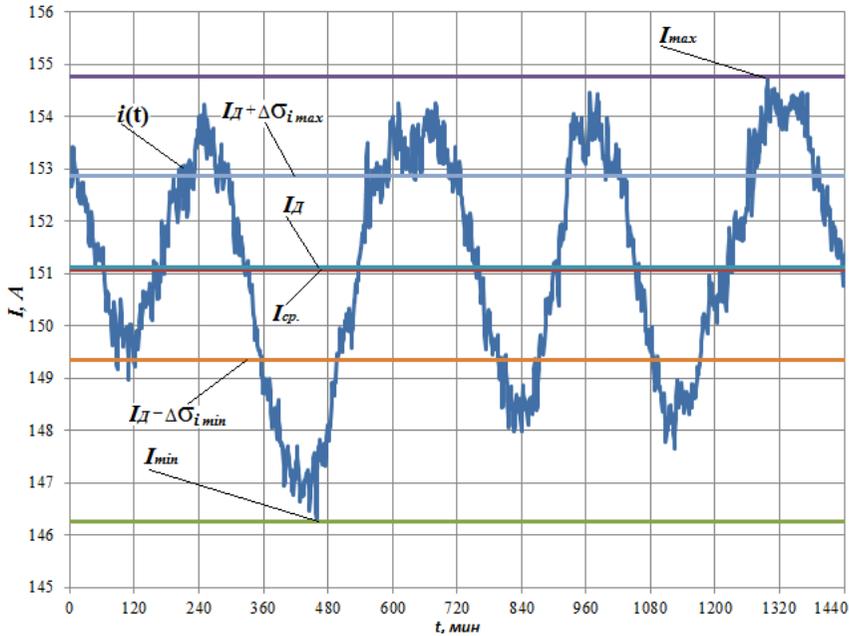


Рис. 3. Суточный график тока нагрузки в центре питания

На рис. 1–5 приведены следующие обозначения: p_{cp} , q_{cp} и P_D , Q_D – средние и среднеквадратичные значения активной и реактивной мощности; $\sigma_{p.max}$, $\sigma_{p.min}$, $\sigma_{q.max}$, $\sigma_{q.min}$ – среднеквадратичные отклонения активной и реактивной мощности; $\cos \varphi_{cp}$, $\cos \varphi_D$ – среднее и среднеквадратичное значения коэффициента мощности; $\sigma_{\cos \varphi.max}$, $\sigma_{\cos \varphi.min}$ – среднеквадратичные отклонения коэффициента мощности; U_{cp} и I_{cp} – среднесуточные значения напряжения и тока; U_{max} , U_{min} и I_{max} , I_{min} – максимальные и минимальные отклонения напряжения и тока; U_D , I_D – среднеквадратичные значения напряжения и тока; $\Delta \sigma_{u.max}$, $\Delta \sigma_{u.min}$ и $\Delta \sigma_{i.max}$, $\Delta \sigma_{i.min}$ – среднеквадратичные отклонения значений напряжения и тока; $U_D + \Delta \sigma_{u.max}$, $U_D + \Delta \sigma_{u.min}$, $I_D + \Delta \sigma_{i.max}$, $I_D + \Delta \sigma_{i.min}$ – максимальные и минимальные отклонения среднеквадратичных значений напряжения и тока.

После подстановки новых вводимых символов целевая функция потерь электрической энергии принимает следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \Delta W(t) &= U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi_f \cdot \int_{t_s}^{t_r} dt + U_f \cdot I_f \cdot \int_{t_s}^{t_r} \cos(2\omega t + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) \cdot dt - \\
 &\quad - U_D \cdot I_D \cdot \cos \varphi_D \cdot \int_{t_s}^{t_r} dt - U_D \cdot I_D \cdot \int_{t_s}^{t_r} \cos(2\omega t + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) \cdot dt = \\
 &= U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi_f \cdot t \Big|_{t_s}^{t_r} + U_f \cdot I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) \Big|_{t_s}^{t_r} - \\
 &\quad - U_D \cdot I_D \cdot \cos \varphi_D \cdot t \Big|_{t_s}^{t_r} - U_D \cdot I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) \Big|_{t_s}^{t_r} = \\
 &= U_f \cdot I_f \cdot t_r \cdot \cos \varphi_f - U_f \cdot I_f \cdot t_s \cdot \cos \varphi_f + U_f \cdot I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \\
 &\quad - U_f \cdot I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \\
 &\quad - U_D \cdot I_D \cdot t_r \cdot \cos \varphi_D + U_D \cdot I_D \cdot t_s \cdot \cos \varphi_D - U_D \cdot I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) + \\
 &\quad + U_D \cdot I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D})
 \end{aligned}$$

где $\cos \varphi_f = \cos \varphi$ и $\cos \varphi_D$ – текущий коэффициент мощности и среднеквадратичное значение коэффициента мощности (см. рис. 4 или 5, в зависимости от наличия компенсирующих установок).

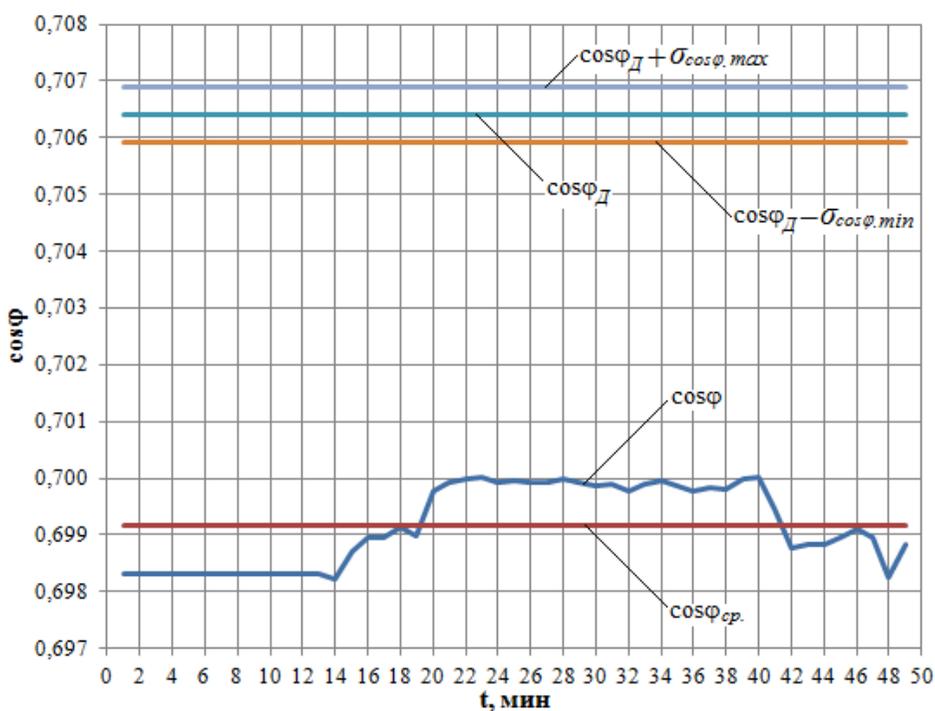


Рис. 4. Суточный график коэффициента мощности в центре питания без компенсации реактивной мощности

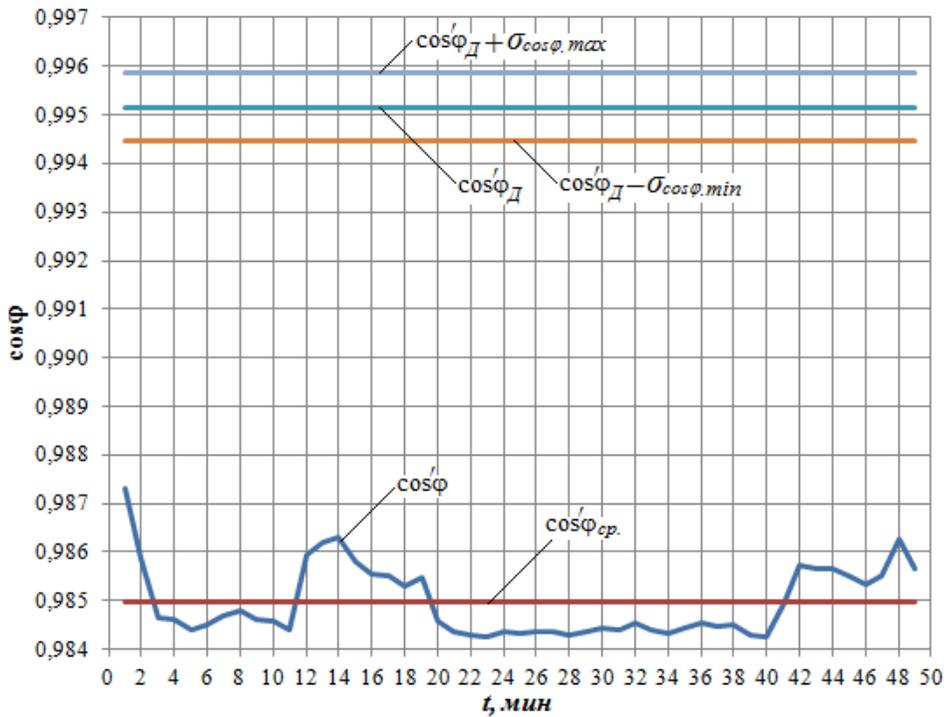


Рис. 5. Суточный график коэффициента мощности в центре питания с учетом компенсации реактивной мощности

При решении задачи оптимизации напряжения в центре питания должны быть введены ограничения.

Формализация процесса решения данной задачи производится с использованием метода неопределенных множителей Лагранжа. При использовании данного метода постановка задачи оптимизации уровня напряжения рассматривается из условия, что максимальные и минимальные изменения уровней напряжения и тока нагрузки в центре питания известны (см. рис. 2, 3).

Искомой переменной является уровень напряжения в центре питания (см. рис. 2). Согласно поставленной задаче требуется найти оптимальное значение текущего напряжения U_f . Задаваемый уровень напряжения $U_{rs} = U_D$ в центре питания с учетом ограничений по напряжению и току:

– ограничения по напряжению и току вводятся в расчеты в неявном виде:

$$U_D - \Delta\sigma_{u, \min} \leq U_f \leq U_D + \Delta\sigma_{u, \max},$$

$$I_D - \Delta\sigma_{i, \min} \leq I_f \leq I_D + \Delta\sigma_{i, \max},$$

$$I_f - I_D = 0, \quad U_f - U_D = 0;$$

– в явном виде ограничения примут следующий вид:

$$U_f - U_D + \Delta\sigma_{u, \min} = 0, \quad I_f - I_D - \Delta\sigma_{i, \max} = 0,$$

$$U_f - U_D - \Delta\sigma_{u, \max} = 0, \quad I_f - I_D + \Delta\sigma_{i, \min} = 0,$$

$$I_f - I_D = 0, \quad U_f - U_D = 0.$$

Для целевой функции потерь электрической энергии с учетом всех имею-

щихся условий задачи составляется функция Лагранжа:

$$\begin{aligned} \Delta W(t) = & U_f \cdot I_f \cdot \cos \varphi_f \cdot \int_{t_s}^{t_r} dt + U_f \cdot I_f \cdot \int_{t_s}^{t_r} \cos(2\omega t + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) \cdot dt - \\ & - U_D \cdot I_D \cos \varphi_D \cdot \int_{t_s}^{t_r} dt - U_D \cdot I_D \cdot \int_{t_s}^{t_r} \cos(2\omega t + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) \cdot dt \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Функция Лагранжа в общем виде: $L(\Delta W(t), \lambda) = \Delta W(t) + \sum_{i=1}^n \lambda \cdot \varphi_i \rightarrow \min.$

В развернутом виде она примет следующий вид:

$$\begin{aligned} L(\Delta W(t), \lambda) = & U_f \cdot I_f \cdot t_r \cdot \cos \varphi_f - U_f \cdot I_f \cdot t_s \cdot \cos \varphi_f + \\ & + U_f \cdot I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - U_f \cdot I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \\ & - U_D \cdot I_D \cdot t_r \cdot \cos \varphi_D + U_D \cdot I_D \cdot t_s \cdot \cos \varphi_D - U_D \cdot I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) + \\ & + U_D \cdot I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) + \\ & + \sum_{i=1}^n \lambda \cdot (3U_f - 3U_D + \Delta\sigma_{u.\min} - \Delta\sigma_{u.\max} + 3I_f - 3I_D - \Delta\sigma_{i.\max} + \Delta\sigma_{i.\min}) \rightarrow \min. \end{aligned}$$

Далее определяются частные производные:

$$\begin{aligned} \frac{dL(\Delta W(t), \lambda)}{dU_f} = & I_f \cdot t_r \cdot \cos \varphi_f - I_f \cdot t_s \cdot \cos \varphi_f + I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \\ & - I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) + 3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda, \\ \frac{L(\Delta W(t), \lambda)}{dU_D} = & -I_D \cdot t_r \cdot \cos \varphi_D + I_D \cdot t_s \cdot \cos \varphi_D - I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) + \\ & + I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) - 3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda, \\ \frac{dL(\Delta W(t), \lambda)}{dI_f} = & U_f \cdot t_r \cdot \cos \varphi_f - U_f \cdot t_s \cdot \cos \varphi + U_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \\ & - U_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) + 3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda, \\ \frac{dL(\Delta W(t), \lambda)}{dI_D} = & -U_D \cdot t_r \cdot \cos \varphi_D + U_D \cdot t_s \cdot \cos \varphi_D - U_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) + \\ & + U_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) - 3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda, \\ \frac{dL(\Delta W(t), \lambda)}{d\lambda} = & \sum_{i=1}^n (3U_f - 3U_D + \Delta\sigma_{u.\min} - \Delta\sigma_{u.\max} + 3I_f - 3I_D - \Delta\sigma_{i.\max} + \Delta\sigma_{i.\min}). \end{aligned}$$

Минимум функции Лагранжа определяется путем приравнивания к нулю ее частных производных:

$$\begin{aligned}
& I_f \cdot t_r \cdot \cos \varphi_f - I_f \cdot t_s \cdot \cos \varphi_f + I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \\
& - I_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) + 3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda = 0, \\
& - I_D \cdot t_r \cdot \cos \varphi_D + I_D \cdot t_s \cdot \cos \varphi_D - I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) + \\
& + I_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) - 3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda = 0, \\
& U_f \cdot t_r \cdot \cos \varphi_f - U_f \cdot t_s \cdot \cos \varphi_f + U_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \\
& - U_f \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) + 3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda = 0, \\
& - U_D \cdot t_r \cdot \cos \varphi_D + U_D \cdot t_s \cdot \cos \varphi_D - U_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) + \\
& + U_D \cdot \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) - 3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda = 0, \\
& \sum_{i=1}^n (3U_f - 3U_D + \Delta\sigma_{u,\min} - \Delta\sigma_{u,\max} + 3I_f - 3I_D - \Delta\sigma_{i,\max} + \Delta\sigma_{i,\min}) = 0.
\end{aligned}$$

Далее из частных производных определяются искомые величины:

$$\begin{aligned}
I_f &= - \frac{3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda}{t_r \cdot \cos \varphi_f - t_s \cdot \cos \varphi_f + \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f})}, \\
I_D &= - \frac{3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda}{t_r \cdot \cos \varphi_D - t_s \cdot \cos \varphi_D + \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D})}, \\
U_f &= - \frac{3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda}{t_r \cdot \cos \varphi_f - t_s \cdot \cos \varphi_f + \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f})}, \\
U_D &= - \frac{3 \cdot \sum_{i=1}^n \lambda}{t_r \cdot \cos \varphi_D - t_s \cdot \cos \varphi_D + \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D})},
\end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n (3U_f - 3U_D + \Delta\sigma_{u.\min} - \Delta\sigma_{u.\max} + 3I_f - 3I_D - \Delta\sigma_{i.\max} + \Delta\sigma_{i.\min}) = 0.$$

Искомые величины в свернутом виде:

$$I_f = A \cdot \sum_{i=1}^n \lambda; \quad I_D = B \cdot \sum_{i=1}^n \lambda; \quad U_f = C \cdot \sum_{i=1}^n \lambda; \quad U_D = D \cdot \sum_{i=1}^n \lambda;$$

$$\sum_{i=1}^n (3U_f - 3U_D + \Delta\sigma_{u.\min} - \Delta\sigma_{u.\max} + 3I_f - 3I_D - \Delta\sigma_{i.\max} + \Delta\sigma_{i.\min}) = 0, \quad (1)$$

где коэффициенты при текущих и заданных значениях токов и напряжений определяются следующим образом:

$$A = -\frac{3}{t_r \cdot \cos\varphi_f - t_s \cdot \cos\varphi_f + \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f})};$$

$$B = -\frac{3}{t_r \cdot \cos\varphi_D - t_s \cdot \cos\varphi_D + \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D})};$$

$$C = -\frac{3}{t_r \cdot \cos\varphi_f - t_s \cdot \cos\varphi_f + \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_f + 2\psi_{i_f}) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_f + 2\psi_{i_f})};$$

$$D = -\frac{3}{t_r \cdot \cos\varphi_D - t_s \cdot \cos\varphi_D + \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_r + \varphi_D + 2\psi_{i_D}) - \frac{1}{2\omega} \cdot \sin(2\omega t_s + \varphi_D + 2\psi_{i_D})}.$$

В уравнение (1) вместо искомых величин подставляются их значения с учетом полученных коэффициентов:

$$\sum_{i=1}^n (3 \cdot C \cdot \sum_{i=1}^n \lambda - 3 \cdot D \cdot \sum_{i=1}^n \lambda + \Delta\sigma_{u.\min} - \Delta\sigma_{u.\max} +$$

$$+ 3 \cdot A \cdot \sum_{i=1}^n \lambda - 3 \cdot B \cdot \sum_{i=1}^n \lambda - \Delta\sigma_{i.\max} + \Delta\sigma_{i.\min}) = 0,$$

$$\text{или } \sum_{i=1}^n \lambda \cdot 3 \cdot (C - D + A - B) + \Delta\sigma_{u.\min} - \Delta\sigma_{u.\max} - \Delta\sigma_{i.\max} + \Delta\sigma_{i.\min} = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda \cdot 3 \cdot (C - D + A - B) = -\Delta\sigma_{u.\min} + \Delta\sigma_{u.\max} + \Delta\sigma_{i.\max} - \Delta\sigma_{i.\min},$$

$$\text{отсюда } \sum_{i=1}^n \lambda = \frac{1}{3} \cdot \frac{-\Delta\sigma_{u.\min} + \Delta\sigma_{u.\max} + \Delta\sigma_{i.\max} - \Delta\sigma_{i.\min}}{C - D + A - B}.$$

Значения искомых величин можно представить новыми коэффициентами:

$$U_f = C \cdot \sum_{i=1}^n \lambda = C \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{-\Delta\sigma_{u.\min} + \Delta\sigma_{u.\max} + \Delta\sigma_{i.\max} - \Delta\sigma_{i.\min}}{C - D + A - B} = G_1,$$

$$I_f = A \cdot \sum_{i=1}^n \lambda = A \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{-\Delta\sigma_{u,\min} + \Delta\sigma_{u,\max} + \Delta\sigma_{i,\max} - \Delta\sigma_{i,\min}}{C - D + A - B} = G_2,$$

$$U_D = D \cdot \sum_{i=1}^n \lambda = D \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{-\Delta\sigma_{u,\min} + \Delta\sigma_{u,\max} + \Delta\sigma_{i,\max} - \Delta\sigma_{i,\min}}{C - D + A - B} = G_3,$$

$$I_D = B \cdot \sum_{i=1}^n \lambda = B \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{-\Delta\sigma_{u,\min} + \Delta\sigma_{u,\max} + \Delta\sigma_{i,\max} - \Delta\sigma_{i,\min}}{C - D + A - B} = G_4,$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda = \frac{1}{3} \cdot \frac{-\Delta\sigma_{u,\min} + \Delta\sigma_{u,\max} + \Delta\sigma_{i,\max} - \Delta\sigma_{i,\min}}{C - D + A - B} = G.$$

Искомые величины функции Лагранжа в общем виде представляются через коэффициенты G_1, G_2, G_3, G_4, G :

$$L(\Delta W(t), \lambda) = f(U_f, I_f, U_D, I_D, \lambda) = f(G_1, G_2, G_3, G_4, G).$$

Решение полученной системы уравнений методом Гаусса позволяет определить оптимальный и рациональный уровень напряжения, который необходимо автоматически стабилизировать в центре питания рассматриваемого иерархического уровня с целью обеспечения минимума потерь электрической энергии в распределительной электрической сети.

По результатам работы можно сделать следующий вывод: предлагаемый метод оптимизации уровня напряжения существенно снижает трудоемкость расчетов и повышает достоверность полученных результатов, так как в качестве исходной информации используются фактические суточные графики (тока и напряжения) объекта исследования, полученные с узла коммерческого учета электрической энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В. Методика определения рациональных уровней напряжения электротехнического комплекса предприятия нефтегазодобывающей промышленности // Материалы международной научно-технической конференции «Нефть и газ Западной Сибири». – Тюмень: Феликс, 2005. – Т. 2. – С. 157-158.
3. Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Рюмин Е.В., Махт А.Д. Оптимизация энергетических параметров в установившихся режимах электротехнических комплексов отходящих линий, подключенных к одному центру питания // Энергетика Татарстана. – 2012. – № 1(25). – С. 20-23.
4. Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Рюмин Е.В., Махт А.Д. Совершенствование математической модели и метода расчета по определению оптимальных энергетических параметров узла электрической нагрузки // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 3. – С. 64-70.
5. Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Швецова Л.В. Повышение эксплуатационно-энергетических характеристик электротехнического комплекса добывающей скважины при добыче вязкой и высоковязкой нефти // Промышленная энергетика. – 2015. – № 8. – С. 18-22.

Статья поступила в редакцию 17 января 2017 г.

MULTILEVEL HIERARCHIC OPTIMIZATION OF THE VOLTAGE MODES IN A POWER-SUPPLY-SYSTEM AT AN OIL-AND-GAS PRODUCTION ENTERPRISE

D.N. Nurbosynov, T.V. Tabachnikova

Almetyevsk State Oil Institute
2, Lenin st., Almetyevsk, Republic Tatarstan, 423450, Russian Federation

The optimization method of the voltage level in hierarchic rank from electrical complex of an oil well till a large knot electrical power supply is developed. A new analytical dependences and goal function considering a variable days curve of the consumption of active and reactive power are received. This method assumes the calculation of losses of the electric energy in the stable working modes of an electrical substation in a gas-and-oil industry allowing to define losses of electric energy at all hierarchical levels of electric network. The offered method of level optimization of electrical voltage significantly reduces labor input of calculations and increases reliability of the received results because the actual daily schedules of electricity consumption are used of the research object as the initial information.

Keywords: *the goal function, the losses of the electric power, the days curve of an active and reactive power, the electrical substation in a gas-and-oil industry, the major-substation, the electrical complex of the gas-and-oil producing industry.*