

УДК 621.311:621.316

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ПОТРЕБЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

Непша Ф.С., ст. преподаватель кафедры ЭГПП, Ефременко В.М., к.т.н., профессор кафедры ГМиК,  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Задача регулирования напряжения в системах электроснабжения (СЭС) угольных шахт является важнейшей задачей, решение которой позволяет обеспечить нормативный уровень напряжения на зажимах электроприемников и повысить энергоэффективность функционирования СЭС. Проведенные исследования [1] показывают, что в процессе функционирования СЭС угольной шахты в нормальном режиме наблюдаются отклонения напряжения в пределах  $-17\div+7\%$  от номинальных значений. В послеаварийных режимах снижение напряжения может достигать до 25%. Следовательно, существующая система регулирования напряжения неэффективна, т.к. устройства регулирования напряжения не обеспечивают поддержания нормативного уровня напряжения. При этом алгоритм работы системы регулирования напряжения не обеспечивает минимизацию уровня потребления активной мощности на границе раздела между угольной шахтой и энергоснабжающей организацией.

В связи с этим, для повышения энергоэффективности СЭС угольных шахт Кузбасса особенно актуальным является разработка алгоритма системы регулирования напряжения, обеспечивающей оптимизацию уровня напряжения в СЭС по критерию минимума потребления активной мощности на границе раздела с энергоснабжающей организацией. Вопрос создания системы регулирования напряжения в СЭС угольной шахты поднимался в работах [2-4]. Однако разработанные системы регулирования напряжения [5-6] не учитывают возможность регулирования уровня потребления активной мощности путем регулирования уровня напряжения в СЭС и наличие недискретных регуляторов реактивной мощности.

Для разработки алгоритма оптимизации уровня напряжения в рамках СЭС необходимо определить зависимые переменные, граничные условия и целевую функцию.

Зависимые переменные представляют собой совокупность параметров СЭС, регулируя которые, возможно изменить значение целевой функции. Эти переменные могут быть дискретными или недискретными. В случае оптимизации режима СЭС по напряжению дискретными переменными являются: номер ступени регулирования устройства регулирования под нагрузкой (УРПН) трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП)  $n_m$ , номер ступени регулирования батареи статических конденсаторов (БСК)  $n_{бск}$ . Недискретными

переменными являются значения генерации реактивной мощности малой генерацией  $Q_z$ .

Целевая функция и граничные условия оптимизации режима работы СЭС угольного предприятия по критерию минимума потребления активной мощности представлены в (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{номр} = \sum_{i=1}^{N_1} P_{ni}(U_i) + \Delta P - \sum_{j=1}^{N_2} P_{zj}, \\ P_{номр} \rightarrow \min; \\ \Delta P = f(U, P_n, Q_n, Q_z, n_m, n_{бск}); \\ P_n = f(U), Q_n = f(U); Q_{укрм} = f(U, n_{бск}); \\ U_{\min} \leq U_i \leq U_{\max}; \\ n_{m.\min} \leq n_m \leq n_{m.\max}; \\ n_{бск.\min} \leq n_{бск} \leq n_{бск.\max}; \\ Q_{z.\min j} \leq Q_{zj} \leq Q_{z.\max j}; \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $N_1$  - число нагрузочных узлов;  $N_2$  - число генераторных узлов, в которых  $P_z = const$ ;  $U$  - уровень напряжения на зажимах электроприемников;  $\Delta P$  - потери активной мощности в СЭС угольной шахты;  $U_{\min}$ ,  $U_{\max}$  - максимальные и минимальные ограничения по уровню напряжения, определяемые требованиями ГОСТ и паспортными данными электроприемников;  $Q_{z.\min j}$ ,  $Q_{z.\max j}$  - максимальные и минимальные ограничения по уровню генерации реактивной мощности, определяемые паспортными данными синхронных машин и  $P$ - $Q$  диаграммой;  $P_n = f(U)$ ,  $Q_n = f(U)$  - статические характеристики нагрузки электроприемников угольной шахты,  $n_{m.\min}$ ,  $n_{m.\max}$  - минимальный и максимальный номер ступени регулирования УРПН трансформатора ГПП;  $n_{бск.\min}$ ,  $n_{бск.\max}$  - минимальный и максимальный номер ступени регулирования БСК.

На основе проведенного анализа был разработан алгоритм оптимизации уровня напряжения в СЭС угольной шахты по критерию минимума потребления активной мощности (рисунок 1).

Алгоритм предполагает раздельное выполнение операций симуляции текущего режима и его оптимизации. Это позволяет осуществлять мониторинг состояния СЭС угольной шахты и обеспечивать максимальную эффективность использования устройств регулирования напряжения.

Предложенный алгоритм включает в себя выполнение следующих блоков:

**Блок 1 - подготовка исходных данных.** В нем выполняется сбор данных о топологии электрической сети и формируется матрица статических характеристик нагрузки по напряжению.

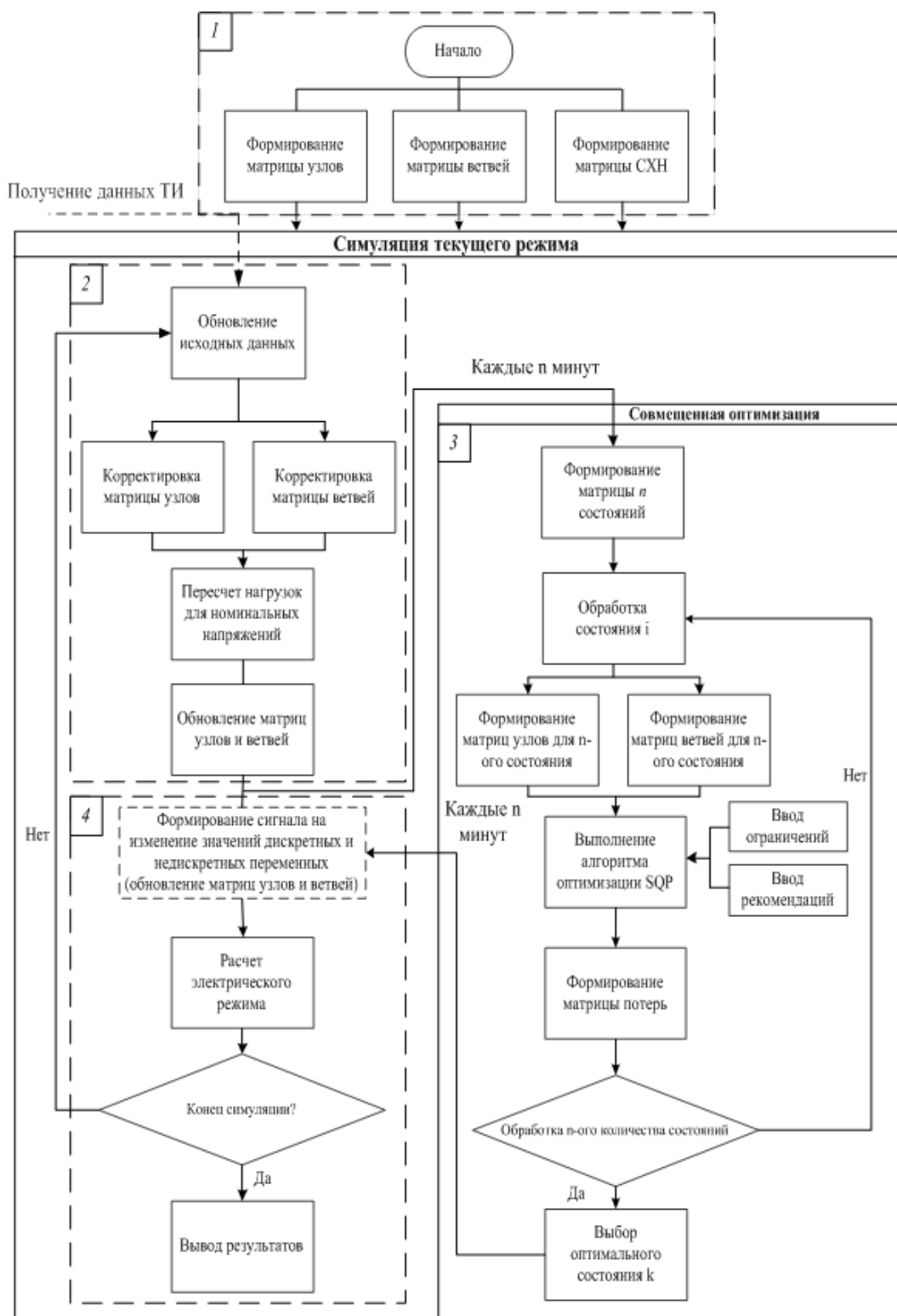


Рисунок 1 – Предлагаемый алгоритм оптимизации уровня напряжения в СЭС угольной шахты по критерию минимума потребления активной мощности

**Блок 2 – обновление исходных данных и симуляция текущего режима.** Выполняется сбор данных телеизмерений и корректировка исходных

данных. По полученным данным выполняется определение нагрузок для номинального уровня напряжения и обновляются матрицы узлов и ветвей. Далее выполняется симуляция текущего режима. Для симуляции электрического режима выбран метод Ньютона с определением коэффициента демпфирования по схеме Энеева – Матвеева. Обоснование выбранного метода расчета режимов приведено в [7].

**Блок 3 - Совмещенная оптимизация.** В нем с определенной периодичностью осуществляется определение значений зависимых переменных для получения минимума целевой функции (1).

На *первом этапе* оптимизации выполняется формирование матрицы состояний СЭС угольной шахты. Число возможных состояний СЭС промышленного предприятия напрямую зависит от числа дискретных регуляторов уровня напряжения и влияет на скорость выполнения оптимизации. Для ускорения процесса оптимизации было принято считать систему электроснабжения, запитанную от каждого трансформатора независимой. Также учитывая, что УРПН не может сразу перейти из текущего положения в крайнее, число рассматриваемых положений анцапф УРПН было ограничено до 3.

*Второй этап* состоит в распознавании матрицы сети и выполнении оптимизации недискретных параметров.

Для решения задачи нелинейной условной оптимизации было предложено рассмотреть метод последовательного квадратичного программирования (SQP) и метод внутренней точки [8] по двум показателям: эффективность алгоритма оптимизации и скорость выполнения алгоритма (мс).

После выполнения оптимизации недискретных переменных выбирается состояние СЭС с наименьшим значением потребляемой активной мощности.

**Блок 4 – Блок формирования управляющих сигналов на изменение значений зависимых переменных.** После выполнения оптимизации выполняется корректировка матриц узлов и ветвей, а также формируется сигнал на изменение зависимых переменных. Затем операция оптимизации зависимых переменных повторяется с заданной периодичностью.

Периодичность выполнения оптимизации зависимых параметров определяется коммутационным ресурсом УРПН на ГПП.

## **Выводы**

1. На основе проведенных исследований разработан алгоритм оптимизации уровня напряжения по критерию минимума потребления активной мощности в СЭС угольной шахты.

2. Предложенный алгоритм учитывает статические характеристики нагрузки по напряжению электроприемников, что повышает его точность и достоверность и позволяет использовать электроприемники для регулирования величины потребления активной и реактивной мощности.

3. Разработанный алгоритм позволяет учитывать работу устройств компенсации реактивной мощности, в случае если они имеют дискретный диапазон регулирования.

4. Предложено выполнять совместную оптимизацию дискретных и недискретных переменных путем формирования матриц состояний. Для ускорения расчетов при формировании матрицы состояний в отношении УРПН трансформаторов ГПП предложено учитывать только соседние положения анцапф УРПН.

5. В качестве методов оптимизации недискретных переменных предложено рассмотреть два наиболее эффективных метода [8]: метод внутренней точки и метод последовательной квадратичной оптимизации. В рамках практической части будет выполнено сравнение этих алгоритмов по двум параметрам: эффективность оптимизации и скорость выполнения оптимизации.

Для дальнейшей апробации разработанного алгоритма необходимо реализовать разработанный алгоритм в программной среде и применить его в отношении имитационной модели СЭС угольной шахты.

### Список литературы:

1. Непша Ф. С., Ефременко В. М. Особенности регулирования уровня напряжения в системах электроснабжения угольных шахт Кузбасса // Промышленная энергетика. 2017. №11.
2. Миновский Ю.П. Эффективность электроснабжения забоев угольных шахт. – М.: Недра, 1990. – 158 с.: ил.
3. Конюхова Е.А. Регулирование электропотребления промышленного предприятия при взаимосвязанном выборе режима напряжения и компенсации реактивной мощности. Автореферат дисс. доктора техн. наук. М.: 1998. – 36 с.
4. Полищук В. В.. Регулирование режима напряжения в распределительных сетях 6(10) кВ горных предприятий. Автореферат дис. ... кандидата технических наук. гос. горный ин-т.- Санкт-Петербург, 1996.- 22 с.
5. Тарасов Д. М. Управление режимом напряжения территориально рассредоточенных электроприемников горных предприятий: дис. канд. техн. наук: 05.09.03: Санкт-Петербург, 2003 147 с.
6. Шевчук А. П. Повышение эффективности группового регулирования напряжения в распределительных сетях промышленных предприятий в условиях территориально рассредоточенных электропотребителей: диссертация ... кандидата технических наук, 2014.- 135 с.
7. Непша Ф.С. Анализ методов расчета электрических режимов в рамках системы электроснабжения угольной шахты / Ф.С. Непша // Интеллектуальные энергосистемы: труды IV Международного молодежного форума. Томск 9 - 13 октября 2017 г.
8. J .Nocedal and S. J. Wright, Numerical Optimization, Eds. Springer, 2006.