

Научная статья

УДК 620.4

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-1-57-63

Тельманова Елена Дмитриевна, Абдрахманов Илья Дмитриевич

Уральский государственный горный университет

*E-mail: telmanova_rsvpu@mail.ru

ВИРТУАЛЬНАЯ ПОДСТАНЦИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И БЕЗАВАРИЙНОЙ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация.

В статье предложено эффективное решение поддержания высокого уровня надежности электроснабжения и безаварийной работы технологического оборудования, работающего в экстремальных условиях горнодобывающей промышленности. Дается сравнительная оценка назначения и функциональных возможностей виртуальных подстанций Virtual Power Plants (VPP), применяемых на либерализованных рынках электроэнергетики Европы и виртуальной подстанции для предприятий горнопромышленного комплекса России. Делается вывод, что для обеспечения высокой надежности электроснабжения и функционирования оборудования горного предприятия наиболее актуальной является виртуальная подстанция, сочетающая в себе функции оптимальной диспетчерской стратегии, мониторинга и прогнозирования ожидаемого времени перехода электрических сетей и оборудования в неработоспособное состояние. Представлена функциональная схема электроснабжения предприятия минерально-сырьевого комплекса, которая показывает место и функции виртуальной подстанции в данной системе. Рассмотрены основные задачи умной сети Smart grid, подчиненной VPP, одной из задач которой является обнаружение аномальных и предаварийных режимов работы важнейших узлов горного оборудования. Для обеспечения комплексного управления в реальном времени и координации с различными энергетическими и технологическими объектами предложен алгоритм решения задач комбинаторной оптимизации «плодовой мушки» или «fruit fly algorithm» (BAS). В статье представлена принципиальная схема и этапы построения математической модели BAS. Выполнена структурная оптимизация данного алгоритма, улучшающая топологию системы, в результате чего был предложен принцип «роевого интеллекта плодовой мушки» с применением дополнительно иммунного алгоритма. Достоинством данного алгоритма является высокая эффективность поиска за счет реализации функции саморегуляции, исключающей быстрое, но необоснованное решение. Так как одной из целей данного алгоритма является обеспечение бесперебойной работы горного оборудования, рассмотрен мониторинг некоторых технологических параметров этого оборудования.



Информация о статье

Поступила:

01 февраля 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

15 февраля 2024 г.

Принята к печати:

01 марта 2024 г.

Опубликована:

04 апреля 2024 г.

Ключевые слова:

горное оборудование, виртуальная подстанция, Smart grid, алгоритм «плодовой мушки».

Для цитирования: Тельманова Е.Д., Абдрахманов И.Д. Виртуальная подстанция для обеспечения надежности электроснабжения и безаварийной работы технологического оборудования горнодобывающего предприятия // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 1 (171). С. 57-63. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-1-57-63, EDN: KSWQQR

Важнейшую роль в экономическом росте и развитии горнодобывающей промышленности играет высокий уровень надежности эксплуатируемой

системы электроснабжения предприятия минерально-сырьевого комплекса. Любая горнодобывающая компания в значительной степени полагается на

структурную надежность электрических сетей и безаварийную работу электрооборудования как на основу своей деятельности. Дорогостоящие простои, частое техническое обслуживание и несчастные случаи подчеркивают важность не только выбора схемы электроснабжения и электрооборудования, спроектированных для безотказной работы в экстремальных условиях горнодобывающей промышленности, но и эффективных решений для поддержания требуемого уровня надежности.

Одним из таких решений является мониторинг состояния распределительных сетей внутреннего электроснабжения и основного электрооборудования горнодобывающего предприятия с последующей обработкой, анализом данных и выработкой решений, направленных на предупреждение перехода сетей и оборудования в неработоспособное состояние. Наступление такого состояния обусловлено тем, что и распределительная сеть, и оборудование работают круглогодично и представляют собой сложный технологический объект, находящийся под воздействием случайных факторов, таких как атмосферные осадки, колебания температуры окружающей среды, количество пыли, переносимые по воздуху пары химических реагентов и т. д. [1].

В настоящее время предлагаются различные инновационные комплексные решения для мониторинга и защиты различных систем электроснабжения. Развитие интеллектуальных сетей, разработка новейших датчиков позволяет проектировать, разрабатывать и внедрять новые аппаратно-программные структуры в различных областях. Тем не менее, одним из наиболее перспективных направлений на мировом энергетическом рынке является создание интеллектуальных устройств, подключенных к различным формам облачных вычислений, в основе которых конвергенция информационной и операционной технологий в единую платформу. Примером такой технологии является виртуальная электростанция VPP.

Virtual Power Plants (VPP) по аналогии с реальной электростанцией или подстанцией выполняет комплексное управление и координацию различными энергетическими и технологическими объектами, обеспечивая надежное электроснабжение. Интеграция информационно-коммуникационных технологий ИКТ в энергосистемы при взаимодействии с VPP обеспечивает значительные преимущества, такие как:

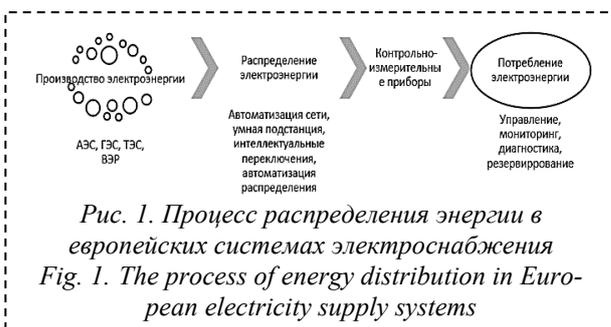
- 1) минимизация времени принятия решений;
- 2) связь с локальными системами, что позволяет решать проблемы управления на местном уровне;
- 3) сокращение времени ожидания благодаря более эффективной и централизованной системе сбора и анализа данных.

VPP могут напрямую применять ИКТ для индивидуального контроля за элементами энергосистемы и посылать сигналы, с помощью которых можно влиять на решения потребителей и производителей электроэнергии [2].

Основной целью VPP, разрабатываемых западными странами специально для либерализованного

рынка электроэнергии, является координация различных энергетических ресурсов («зеленая» генерация, генерация на ископаемом топливе, гидроэнергетика) для удовлетворения потребностей в электроэнергии по наименьшей стоимости генерации. При этом вопрос получения наибольшей прибыли от продажи электроэнергии клиентам является не менее актуальным.

Таким образом, задачей виртуальной электростанции является возможность получения и распределения электро- и тепло-энергии в любое время от всех доступных в данный момент возобновляемых и не возобновляемых источников энергии по оптимальной стоимости и с учетом требуемого качества электроэнергии [3]. Процесс распределения энергии по территории европейских стран представлен на Рис. 1. [4]



Основная идея *Virtual Power Plants* – работа удаленно, объединить ряд независимых возобновляемых источников энергии и энергетические ресурсы из разных мест в сеть, обеспечивающую надежное электроснабжение. Задачей виртуальной подстанции является устранение неопределенности, появляющейся при генерации солнечной и ветровой энергии.

Думается, что применять VPP в условиях, когда доля «зеленой» генерации в большинстве западных стран относительно мала (примерно до 10-15%), а для выравнивания рынка электроэнергии приходится забирать существенные резервы у энергосистем, повышая ее уязвимость к прочим рискам, в настоящее время нецелесообразно [5].

При проектировании VPP для российского энергетического сектора необходимо учитывать климатические условия в северных регионах и очень небольшой процент «зеленой» генерации. Более того, интеграция плохо предсказуемой «зеленой» генерации со своими скачками и рисками в энергетический комплекс виртуальной подстанции не повысит надежность электроснабжения отечественной горнодобывающей промышленности. Для потребителей этой отрасли промышленности более актуальна и надежна виртуальная подстанция, сочетающая в себе функции оптимальной диспетчерской стратегии, мониторинга и прогнозирования ожидаемого времени перехода электрических сетей и оборудования горного предприятия в неработоспособное состояние. Функции виртуальной подстанции в системе управления и автоматизации электроснабжением предприятия представлены на Рис. 2.

Важнейшая роль в системах электроснабжения, подчиненных *VPP*, отведена умным сетям *Smart grid*, обеспечивающим эффективное подключение и эксплуатацию всех средств производства электро- и тепло-энергии, а также автоматическое управление электрическими сетями в режиме реального времени. Повышение уровня контроля и измерений потребления энергии также является результатом

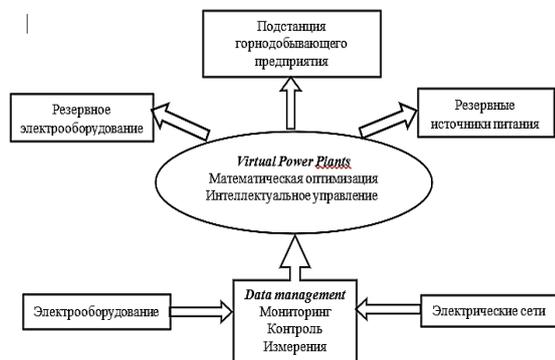


Рис. 2. Функции виртуальной подстанции в системе управления и автоматизации электроснабжением предприятия
Fig. 2. Functions of virtual power plant in the system of control and automation of power supply of the enterprise

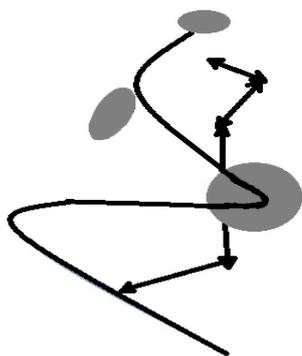


Рис. 3. Принципиальная схема алгоритма BAS
Fig. 3. BAS algorithm schematic diagram

применения умных сетей, а последующая математическая оптимизация полученных данных и решений позволяет поднять уровень надежности электроснабжения, сэкономить энергию и понизить затраты. *Smart grid* способна обеспечить быстрое обнаружение, локализацию и устранение перебоя в подаче электроэнергии, а также обнаружение различных нештатных режимов работы основных узлов горного оборудования. Интеллектуальное управление, основанное на методах технологического прогнозирования, с большой точностью предсказывает сбои, которые могут произойти, чтобы принять корректирующие меры, минимизировать эффект, диагностировать причины и повысить доступность и надежность системы электроснабжения.

Одним из актуальных алгоритмических подходов к решению задач комбинаторной оптимизации и диспетчеризации является концепция, основанная на методе «*fruit fly algorithm*» (алгоритм плодовой

мушки). Именно этот алгоритм «поиска антенны жука» (алгоритм *BAS*) позволит добиться комплексного управления и координации с различными энергетическими и технологическими объектами, обеспечивая не только надежное электроснабжение, но и безаварийную работу технологического оборудования на предприятии горнопромышленного комплекса [6].

Алгоритм *BAS* представляет собой метаэвристический алгоритм поиска, в котором жука представляет треугольником, а усики (антенны) жука изображаются в виде двух длинных сторон треугольника. Кривая между треугольниками (жуками) обозначает движение жуков, а концентрация запаха обозначается круглыми фигурами. Принципиальная схема алгоритма *BAS* представлена на Рис. 3.

Образно говоря, жук чувствует запах двумя антеннами. При изменении расстояния между жуком и местом питания меняется и концентрация запаха [7]. Постоянно перемещаясь и ища концентрацию запаха, жук в итоге добирается до источника запаха.

Математическая модель строится поэтапно следующим образом.

Шаг первый: определяется функция приспособленности вида

$$y^t = [y^1, y^2, \dots, y^n],$$

где t обозначает порядковый номер итерации

Шаг второй: случайным образом выбирается ориентация жука

$$\vec{a} = rand(m, 1) / \|rand(m, 1)\|,$$

где $rand(m, 1)$ обозначает случайное направление движения жука, которое является матрицей размерности $(m \times 1)$, \vec{a} — единичный вектор.

Шаг третий: координаты двух антенн после каждой итерации можно определить

$$y_c = y^{t-1} + l^{t-1} \times \vec{a}$$

$$y_d = y^{t-1} - l^{t-1} \times \vec{a}$$

где y_c, y_d — координаты правой и левой антенн соответственно; l — длина срабатывания антенны, которая определяется шагом β .

$$\beta^t = \gamma \beta^{t-1},$$

где γ — константа, которая указывает скорость затухания шага поиска.

Итоговое выражение для определения координат антенн можно записать:

$$y^t = y^{t-1} - \partial \beta \vec{a} \text{sign}(f(y_c) - f(y_d)),$$

где y^t — последующий шаг после шага y^{t-1} ;

∂ — размер шага поиска;

$\text{sign}(\dots)$ — функция ошибок, которая применяется в теории вероятностей, статистике и т.д.;

$f(y_c) - f(y_d)$ — разность функций левой и правой антенн соответственно.

Код алгоритма имеет следующий вид:

- Определяется функция как $f(y^t)$, где переменная $y^t = [y^1, y^2, \dots, y^n]^T$;
- Initialize the parameters y^0, l^0 ;
- Output = $[y_{bst}, f_{bst}]$;
- Определяется временной диапазон ($t < T_{max}$);
- Генерация модуля вектора направления \vec{a} согласно уравнению:

$$\vec{a} = rand(m, 1) / \|rand(m, 1)\|$$

• Поиск координат двух антенн согласно уравнениям:

$$y_c = y^{t-1} + l^{t-1} \times \vec{a}$$

$$y_d = y^{t-1} - l^{t-1} \times \vec{a}$$

• Обновление значения переменной в соответствии с уравнением:

$$y^t = y^{t-1} - \partial \beta \vec{a} sign(f(y_c) - f(y_d))$$

• Если функция y^t меньше функции лучшего значения, то они равны:

$$If f(y^t) < f_{bst}, then f_{bst} = f(y^t), y_{bst} = y^t;$$

• Return y_{bst}^*, f_{bst}^* .

Высокая сложность, подчиненных виртуальной подстанции VPP автоматизированных систем управления процессами электроснабжения оборудования, работающего в экстремальных условиях горнодобывающей промышленности, требует структурной оптимизации алгоритма «плодовой мушки». В отличие от параметрической оптимизации, при которой изменяются только параметры элементов системы, структурная оптимизация позволяет улучшить топологию системы [8].

Результатом такой оптимизации стал алгоритм «роевого» интеллекта, который был предложен в июне 2011 года тайваньским ученым Вэнь-Цао Паном [9]. Достоинства усовершенствованного алгоритма проанализированы в работе китайских исследователей Я. Ли и М. Хан [10]. В отличие от стандартного алгоритма «плодовой мушки», не позволяющего решать задачи многомерной нелинейной оптимизации, в алгоритме «роевого» интеллекта используется механизм обработки данных системы по программе «обучение – запоминание – забывание».

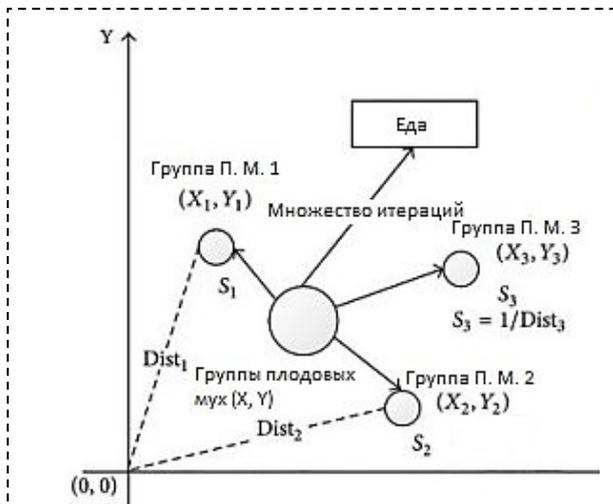


Рис. 4. Принцип «роевого интеллекта плодовой мушки»

Fig. 4. The principle of «fruit fly swarm intelligence»

Графическое представление алгоритма «роевого интеллекта плодовой мушки» изображено на Рис. 4. Рой насекомых здесь состоит из трех дрозофил S1, S2 и S3. Во время поиска по запаху (smell-based search) мухи случайным образом перемещаются по пространству поиска. При этом, их новые позиции соответствуют координатам $(X1, Y1)$, $(X2, Y2)$ и

$(X3, Y3)$ соответственно. На следующем этапе выполняется оценка мух по концентрации запаха в их месте нахождения (population evaluation), для определения наилучшей мушки в группе. В качестве критерия оценивания наилучшей мушки используется величина обратная расстоянию от начала координат до данной мушки ($1/Disti$). Далее, после определения наилучшей плодовой мушки, вся популяция начинает перемещаться в ее направлении, чтобы приблизиться к источнику пищи.

Таким образом, алгоритм «роевого интеллекта плодовой мушки» можно разбить на следующие четыре этапа:

1. Initialization;
2. Smell-based search;
3. Population evaluation;
4. Vision-based search

Соответственно, код алгоритма представляется следующим образом:

- 1: Initialization
- 2: Initialize population size (N)
- 3: Initialize generation max (gen)
- 4: for $i = 1$ to N do
- 5: Create randomly F_i , the i -th fruit fly
- 6: end for
- 7: for $t = 1$ to gen do
- 8: Smell-based search
- 9: Emulate the smell sense by modifying population with random values
- 10: $F_i = F_i + random_value$
- 11: Population evaluation
- 12: Evaluate solutions fitness using the objective function
- 13: Vision-based search
- 14: $BF = Best\ fruit\ fly$
- 15: for $i = 1$ to N do
- 16: $F_i = (F_i + BF)/2$
- 17: end for
- 18: end for

Тем не менее, алгоритм «роевого интеллекта плодовой мушки», как и любой интеллектуальный алгоритм, имеет недостаток – локальная оптимизация, приводящая к быстрому и необоснованному решению [11]. Поэтому для улучшения рассматриваемого алгоритма на предмет совершенствования локального поиска в его структуре используется дополнительный, иммунный алгоритм (initialize generation max (gen)), позволяющий реализовать функцию саморегуляции посредством выработки различных антител аналогично иммунной системе [12]. Как следствие, повышается эффективность поиска.

Использование рассмотренного алгоритма в умных сетях Smart grid обеспечит быстрое обнаружение, локализацию и устранение различных аномальных режимов работы основных узлов горного оборудования. Virtual Power Plants в целом минимизирует время принятия решений в случае возникновения проблем в технологической цепочке предприятия минерально-сырьевого комплекса.

Для обеспечения бесперебойной работы горного оборудования необходимо контролировать техническое состояние электрических машин, отдельных

узлов горного оборудования и металлоконструкций. Кроме того, для обеспечения безопасности на горнодобывающих объектах (производственная безопасность, охрана труда и экологическая безопасность) необходимо организовать эффективную систему контроля технологических процессов.

Для оценки технического состояния оборудования следует производить вибродиагностику, термомониторинг, анализ параметров смазочных материалов. В ходе вибродиагностики регистрируются параметры механических колебаний «наиболее опасных» узлов механизма и выполняется анализ результатов измерений. К предпочтительным измерениям можно отнести амплитуду перемещений и скорость колебаний в соответствии со стандартами *ISO 2372*, *ISO 3945* и *VDI 2056*, т.к. наиболее ярко демонстрирует энергию колебательного процесса и имеет наименьшую изменчивость величина скорости колебаний [13]. Наряду с вибродиагностикой тепловой мониторинг позволяет оценить энергетические потери и, соответственно, экологическую нагрузку на окружающую среду. Термический контроль роликовых подшипников и других элементов конвейера с помощью инфракрасной термографии дает возможность более точно установить неисправные узлы, например, обнаружить локальный перегрев одного подшипника, неисправность системы охлаждения, дефекты системы смазки [14].

Помимо оценки технического состояния узлов горного оборудования необходимо вести учет влияния низких отрицательных температур окружающей среды на работоспособность деталей и узлов горных машин, работающих в экстремальных условиях вечной мерзлоты. Проводимые исследования показали, что число отказов некоторых деталей и узлов технологических машин увеличивается в 2–3 раза, т.к. низкая температура уменьшает пластичность металла и увеличивает предел его текучести. Как результат, в режиме перегрузки узла или металлоконструкции уровень максимальных напряжений резко возрастает [15].

Заключение. В целом рассмотренные выше методы оценки технического состояния узлов, машин и конструкций горного оборудования позволят значительно снизить риски аварийных ситуаций и простоев. Предлагаемая в статье перспективная конвергенция информационной и операционной технологий в виртуальной подстанции *VPP* позволит не только осуществлять мониторинг состояния электрооборудования и электрических сетей, но и реализовать математическую оптимизацию и интеллектуальное управление на различных технологических участках горного предприятия. Рассмотренная алгоритмизация метода интеллектуального управления «*fruit fly algorithm*» позволяет решить такие задачи умных сетей *Smart grid*, как высокая точность технологического прогнозирования предполагаемых сбоев в работе технологического оборудования, минимизация времени диагностирования причины неисправности, сокращение времени принятия решения и повышение доступности к требуемой мощности электроэнергии в системе электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравчук И. Л., Андреева Л. И. Оценка риска эксплуатации горной техники и оборудования в изменившихся условиях функционирования горного предприятия // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 4 (168). С. 36–47.
2. Venegas-Zarama J. F., Muñoz-Hernandez J. I., Baringo L., Diaz-Cachinero P., De Domingo-Mondejar I. A Review of the Evolution and Main Roles of Virtual Power Plants as Key Stakeholders in Power Systems // IEEE Access. 2022. Vol. 10. Pp. 47937–47964.
3. Ghavidel, Sahand & Li, Li & Aghaei, J. & Tao, YU & Zhu, J.G. A review on the virtual power plant: Components and operation systems // IEEE Access. 2016. Pp. 1–6.
4. Daki, Houda & El Hannani, Asmaa & Aqqal, Abdelhak & Haidine, Abdelfatteh & Dahbi, Aziz. Big Data management in smart grid: concepts, requirements and implementation // Journal of Big Data. 2017. P. 13.
5. A Staff Report to the Commission Federal energy regulatory commission. Office of Energy Policy and Innovation. Winter Energy Market and Electric Reliability Assessment // Office of Electric Reliability. 2023–2024. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>.
6. Pal P., Krishnamoorthy P. A., Rukmani D. K., Antony S. J., Ocheme S., Subramanian U., Elavarasan R. M., Das N., Hasanien H. M. Optimal dispatch strategy of virtual power plant for day-ahead market framework // Appl. Sci. 2021. 11. 3814.
7. Zhang L., Xiong J., Liu J. An Adaptive Fruit Fly Optimization Algorithm for Optimization Problems // Journal of Applied Mathematics and Physics. 2023. 11. 3641–3650.
8. Кузнецова О. В. Алгоритм структурной оптимизации сложных дискретных систем // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. №9. С. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-strukturnoy-optimizatsii-slozhnyh-diskretnyh-sistem>. (дата обращения: 19.01.2024).
9. Qing L. Research of Optimizing Performance of Fruit Fly Optimization Algorithm and Five Kinds of Intelligent Algorithm // Fire Control and Command Control. 2013.
10. Li Y., Han M. Improved fruit fly algorithm on structural optimization // Brain Informatics. 2020 №7. С. 1.
11. Song J., Pan H. PID control parameters optimize based on an immune fruit fly optimization algorithm // 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC). Yinchuan, China. 2016. Pp. 6383–6388.
12. Bonyadi M. R., Michalewicz Z. Impacts of coefficients on movement patterns in the particle swarm optimization algorithm // IEEE Trans Evol Comput. 2017.
13. Андреева Л. И. Применение методов оценки технического состояния горной техники на горнодобывающем предприятии // ГИАБ. 2018. №5. С. 136–143.
14. Kuzin E., Bakin V., Dubinkin D. Mining Equipment Technical Condition Monitoring // E3S

© 2024 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Тельманова Елена Дмитриевна, кандидат пед. наук, доцент кафедры электрификации горного предприятий ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), telmanova_rsvpu@mail.ru

Абдрахманов Илья Дмитриевич, аспирант, ст. преподаватель кафедры электрификации горного предприятий ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Заявленный вклад авторов:

Тельманова Елена Дмитриевна - постановка проблемы исследования; разработка функциональной модели виртуальной подстанции; определение задач умной сети Smart grid, подчиненной виртуальной подстанции; алгоритмизация метода «роевого интеллекта плодовой мушки»; написание текста; анализ результатов.

Абдрахманов Илья Дмитриевич - поиск и анализ научных исследований по проектированию и реализации виртуальных электростанций; алгоритмизация метода «роевого интеллекта плодовой мушки»; создание иллюстративного материала для статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-1-57-63

Elena D. Telmanova^{*}, Ilya D. Abdrakhmanov

¹Ural State Mining University

^{*}E-mail: telmanova_rsvpu@mail.ru

VIRTUAL POWER PLANT TO ENSURE RELIABLE POWER SUPPLY AND ACCIDENT-FREE OPERATION OF PROCESS EQUIPMENT OF A MINING ENTERPRISE



Article info

Received:

01 February 2024

Accepted for publication:

15 February 2024

Accepted:

01 March 2024

Published:

04 April 2024

Keywords: mining equipment, virtual power plant, Smart grid, fruit fly algorithm

Abstract.

The article proposes an effective solution for maintaining a high level of power supply reliability and accident-free operation of technological equipment operating in extreme conditions of mining industry. A comparative assessment of the purpose and functional capabilities of Virtual Power Plants (VPP) used in liberalized European electricity markets and Virtual Power Plants for Russian mining enterprises is given. It is concluded that in order to ensure high reliability of power supply and functioning of the equipment of a mining enterprise, the most relevant is a virtual power plant that combines the functions of optimal dispatching strategy, monitoring and forecasting of the expected time of transition of electrical networks and equipment into a non-functional state. The functional scheme of power supply of the enterprise of mineral and raw materials complex is presented, which shows the place and functions of the virtual power plant in this system. The main tasks of the Smart grid subordinated to the VPP are considered, one of the tasks of which is the detection of abnormal and pre-emergency modes of operation of the most important units of mining equipment. To ensure real-time integrated control and coordination with various energy and technological objects, the algorithm for solving combinatorial optimization problems "fruit fly" or "fruit fly algorithm" (BAS) is proposed. The paper presents a schematic diagram and stages of building a

mathematical model of BAS. Structural optimization of this algorithm, which improves the topology of the system, has been performed. As a result, the principle of "swarm intelligence of fruit fly" has been proposed, using an additional immune algorithm. The merits of this algorithm are high search efficiency, due to the realization of a self-regulation function that eliminates a fast but unreasonable solution. Since one of the goals of this algorithm is to ensure the smooth operation of mining equipment, the monitoring of some technological parameters of this equipment is considered.

For citation: Telmanova E.D., Abdrakhmanov I.D. Virtual power plant to ensure reliable power supply and accident-free operation of process equipment of a mining enterprise. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2024; 1(171):57-63 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2024-1-57-63, EDN: KSWQQR

REFERENCES

1. Kravchuk I.L., Andreeva L.I. Ocenka riska ekspluatacii gornoj tekhniki i oborudovaniya v izmenivshisya usloviyah funkcionirovaniya gorno-go predpriyatiya. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2023; 4(168):36–47.
2. Venegas-Zarama J.F., Muñoz-Hernandez J.I., Baringo L., Diaz-Cachinero P., De Domingo-Mondejar I. A Review of the Evolution and Main Roles of Virtual Power Plants as Key Stakeholders in Power Systems. *IEEE Access*. 2022; 10:47937–47964.
3. Ghavidel, Sahand & Li, Li & Aghaei, J. & Tao, YU & Zhu, J.G. A review on the virtual power plant: Components and operation systems. *IEEE Access*. 2016. Pp. 1–6.
4. Daki, Houda & El Hannani, Asmaa & Aqqal, Abdelhak & Haidine, Abdelfatteh & Dahbi, Aziz. Big Data management in smart grid: concepts, requirements and implementation. *Journal of Big Data*. 2017. P. 13.
5. A Staff Report to the Commission Federal energy regulatory commission. Office of Energy Policy and Innovation. Winter Energy Market and Electric Reliability Assessment. *Office of Electric Reliability*. 2023–2024. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>.
6. Pal P., Krishnamoorthy P.A., Rukmani D.K., Antony S.J., Ocheme S., Subramanian U., Elavarasan R.M., Das N., Hasanien H.M. Optimal dispatch strategy of virtual power plant for day-ahead market framework. *Appl. Sci*. 2021; 11:3814.
7. Zhang, L., Xiong J., Liu J. An Adaptive Fruit Fly Optimization Algorithm for Optimization Problems. *Journal of Applied Mathematics and Physics*. 2023; 11:3641–3650.
8. Kuznecova O.V. Algoritm struktur-noj optimizacii slozhnyh diskretnyh system. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk*. 2017; 9:1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-strukturnoy-optimizatsii-slozhnyh-diskretnyh-sistem>.
9. Qing L. Research of Optimizing Performance of Fruit Fly Optimization Algorithm and Five Kinds of Intelligent Algorithm. *Fire Control and Command Control*. 2013.
10. Li Y., Han M. Improved fruit fly algorithm on structural optimization. *Brain Informatics*. 2020; 7:1.
11. J. Song, H. Pan. PID control parameters optimize based on an immune fruit fly optimization algorithm. 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Yinchuan, China. 2016. Pp. 6383–6388.
12. Bonyadi M.R., Michalewicz Z. Impacts of coefficients on movement patterns in the particle swarm optimization algorithm. *IEEE Trans Evol Comput*. 2017.
13. Andreeva L.I. Primenenie metodov ocnki tekhnicheskogo sostoyaniya gornoj tekhniki na gornodobyvayushchem predpriyatii. *GIAB*. 2018; 5:136–143.
14. Kuzin E., Bakin V., Dubinkin D. Mining Equipment Technical Condition Monitoring. *E3S Web of Conferences*. 2018; 41. 03020. 10.1051/e3sconf/20184103020.
15. Ivashchenko E.P., Marchenko A.Yu., Yudkin B.Yu. [i dr.] Ocenka vliyaniya temperatury okruzhayushchej sredy na resurs detalej i uzlov gornyh mashin. *Izvestiya UGGU*. 2015; 3(39):39–41.

© 2024 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declares no conflict of interest.

About the author:

Telmanova Elena Dmitrievna, C. Sc. in Pedagogy, Associate Professor, Department of Electrification of Mining Enterprises, FGBOU VO "Ural State Mining University", (620144, Russia, Ekaterinburg, Kuibysheva str., 30), e-mail: telmanova_rsvpu@mail.ru

Abdrakhmanov Ilya Dmitrievich, Postgraduate / senior lecturer of the Department of Electrification of Mining Enterprises, FGBOU VO "Ural State Mining University", (30 Kuibysheva str., Ekaterinburg, Russia, 620144).

Contribution of the authors:

Telmanova E.D. – statement of the research problem; development of the functional model of the virtual power plant; definition of the tasks of the Smart grid subordinated to the virtual power plant; algorithmisation of the method of "swarm intelligence of the fruit fly"; writing of the text; analysis of the results.

Abdrakhmanov I.D. – search and analysis of scientific researches on design and implementation of virtual power plant; algorithmisation of the method of "fruit fly swarm intelligence"; creation of illustrative material for the article.

Author have read and approved the final manuscript.

