

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Росляков П.В., Егорова Л.Е., Ионкин И.Л. Технологические мероприятия по снижению вредных выбросов ТЭС в атмосферу. / Под ред. П.В. Рослякова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 52 с.
2. Визгавлюст, Н.В. Моделирование образования оксидов азота в пылеугольных топках при сжигании органического топлива / Н.В. Визгавлюст // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 4. – С. 57–61.

Научный руководитель: А.В. Гиль, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ СОВМЕСТНО С ОБЪЕКТОМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Я.Ю. Малькова<sup>1</sup>, Н.Ю. Рубан<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ОЭЭ ИШЭ<sup>1,2</sup>, группа 5АМ11<sup>1</sup>

Планирование размещения вновь вводимых объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) необходимо осуществлять с учетом их влияния на режим работы энергосистемы. Кроме того, непостоянство выработки электроэнергии объектами ВИЭ и сложность ее точного прогнозирования ввиду причин природного характера определяют необходимость реализации ввода возобновляемой генерации совместно с системой накопления энергии (СНЭ). Актуальная экологическая повестка предполагает осуществление выбора типа СНЭ в пользу водородных накопителей.

На примере типовой радиальной сети 15-узловой IEEE схемы (рис. 1) представим вариант возможного решения оптимизационной задачи выбора оптимальных параметров совместно вводимых ВИЭ и СНЭ. Для проведения непосредственно расчетного эксперимента авторами был разработан алгоритм и выполнена его программная реализация, описание которых представлено в [1].

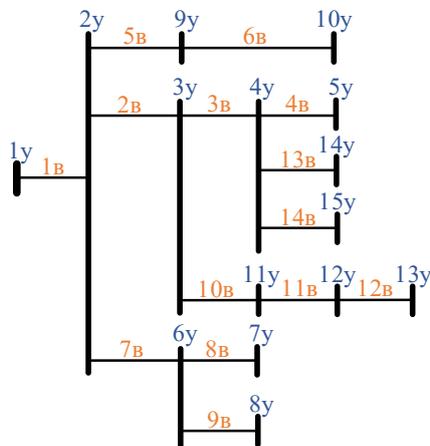


Рис. 1. Радиальная сеть 15-ти узловой IEEE схемы: 1в, 2в...14в – номер ветви, 1у, 2у...15у – номер узла

Сценарий исследования предполагает задание верхней границы диапазона допустимых мощностей внедряемого объекта ВИЭ, равной суммарной нагрузке, расположенной за данным узлом в направлении от источника питания. При этом, введено ограничение на уровень напряжения узлов исследуемой схемы (0,95...1,05) о.е.

Согласно результатам работы выполненной программной реализации, оптимальным местом установки возобновляемой генерации является узел 3, мощность объекта 718 кВт. Оптимум соответствует минимальному значению суммарных потерь мощности в схеме.

Для оценки параметров СНЭ необходимо рассмотреть суточный график суммарной нагрузки и генерации выбранного объекта ВИЭ. Ввиду того, что исследуемая схема является типовой, и отсутствуют данные о характере представленной в ней нагрузки, суточный график суммарной нагрузки строим по данным для обобщенной нагрузки, представленным, например в [2].

Для определения требуемой мощности СНЭ для каждого расчетного часа следует из суммы текущих значений суммарной нагрузки и потерь мощности в схеме вычесть текущую генерацию объекта ВИЭ. Таким образом, максимальная избыточная генерация имеет место в дневное время, а именно в 14 часов, и составляет 322 кВт.

После чего в программной реализации приводим исходные данные в соответствии с параметрами расчетного часа максимальной избыточной генерации, а именно:

- текущая нагрузка соответствует 30% от максимальной нагрузки для каждого узла;
- текущая генерация ВИЭ – 97% от выбранной установленной мощности, равной 718 кВт.

Установим дополнительное ограничение на величину обратного перетока мощности на головном участке: 0, 5, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 и 1500 кВт. Последнее значение обусловлено величиной суммарной нагрузки исследуемой схемы. Полученные результаты исследования представлены далее в таблице 1.

Таблица 1. Определение оптимальных параметров СНЭ

Обратный переток мощности на головном участке, кВт	Ограничение на уровень напряжения узлов схемы, о.е.	Оптимальный узел размещения СНЭ	Оптимальная мощность СНЭ, кВт	Потери мощности после установки СНЭ, кВт	Потери мощности в исходной схеме, кВт
0	0,95	-	-	-	6,530
5		3	321,3	3,383	
25					
50					
100					
200					
500					
1000					
1500					

Как видим, отсутствует вариант размещения СНЭ при обеспечении отсутствия обратного перетока мощности на головном участке. Также в ходе проведения исследования, результаты которого представлены в таблице 1, установлено, что увеличение допустимого обратного перетока мощности на головном участке исследуемой схемы не приводит к изменению оптимального места размещения СНЭ и его мощности.

Исключим из числа возможных мест размещения СНЭ узел установки объекта ВИЭ, а именно узел 3, и повторим исследование. Результаты данного расчетного эксперимента сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Определение оптимальных параметров СНЭ (без узла 3)

Обратный переток мощности на головном участке, кВт	Ограничение на уровень напряжения узлов схемы, о.е.	Оптимальный узел размещения СНЭ	Оптимальная мощность СНЭ, кВт	Потери мощности после установки СНЭ, кВт	Потери мощности в исходной схеме, кВт
0	0,95	-	-	-	6,530
5		4	319,2	4,658	
25			302,4	4,613	
50			277,2	4,577	
100			264,6	4,572	
200					
500					
1000					
1500					

Согласно данным таблицы 2, при увеличении допустимого обратного перетока мощности на головном участке наблюдается уменьшение оптимальной мощности СНЭ и со значения обратного перетока мощности, равного 100 кВт, оптимальным является размещение СНЭ в 4 узле, при этом мощность накопителя составляет 265 кВт. Стоит отметить, что в проведенных экспериментах моделируется режим хранения (запасания) СНЭ.

В результате проведения данной работы установлена необходимость совместной установки объекта ВИЭ и СНЭ. Оптимальная конфигурация данного ввода определяется заданными ограничительными и расчетными условиями в соответствии со спецификой конкретной решаемой задачи.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-5320.2021.4.*

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ufa R.A., Malkova Y.Y., Gusev A.L., Ruban N.Y., Vasilev A.S. Algorithm for optimal pairing of res and hydrogen energy storage systems // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – V. 46. – P. 33659-33669.
2. Будзко И.А. и др. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.

Научный руководитель: Р.А. Уфа, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

### **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОТЛА ПАРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 220 Т/Ч**

К.И. Мальцев<sup>1</sup>, А.В. Гиль<sup>2</sup>, Е.С. Воронцова<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова<sup>1,2</sup>, группа А0-46<sup>1</sup>

На долю угольной энергетики приходится значительная доля выбросов вредных веществ в атмосферу, таких как оксиды азота, двуокись серы и твердые частицы (зола, сажа, пыль). Большая часть котельного оборудования ТЭС спроектирована и введена в эксплуатацию более 40 лет назад. В то время, основной задачей проектировщиков и эксплуатационного персонала считалось обеспечение эффективного сжигания (высокий КПД, долгосрочная безаварийная работа) [1]. В настоящее время к котельным установкам предъявляются новые требования в области защиты окружающей среды от выбросов вредных веществ в атмосферу.

На сегодняшний день в России для действующих не реконструируемых котельных установок нормативы выбросов вредных веществ в атмосферу не разработаны и не закреплены в нормативных документах. Для реконструируемых котельных установок нормативы удельных выбросов регламентируются в зависимости от даты ввода в эксплуатацию и тепловой мощности согласно [2].