

УДК 621.316

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ СНИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В МЕХАНИЗМАХ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ

Севальнев С.А., студент гр. ЭТа-242, II курс
Научный руководитель: Воронин В.А., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

С 2024 года в России действует целевая модель по управлению изменением режима потребления (УИРП). Для многих участников она является способом снизить стоимость энергоснабжения своего объекта и получить выгоду от снижения или переноса своего потребления на другое время. Успешное выполнение всех 5 возможных команд в 1 квартале 2026 года позволит получить 562 111 руб./МВт [1]. Для потребителей это особо актуально при высоком росте цен на электроэнергию – за год средневзвешенная цена у гарантирующего поставщика (ПАО «Кузбассэнергосбыт») для покупателя с почасовым учётом, с уровнем напряжения ВН и мощностью от 670 кВт-10 МВт выросла на 22% с 3 963,25 до 4 827,51 руб./МВт·ч [2].

Механизм УИРП предполагает временное снижение или перенос потребления электрической энергии по команде системного оператора (СО) в отдельные часы суток. Для определения фактического объема снижения электропотребления используется сравнение реального графика нагрузки потребителя с расчетным базовым уровнем потребления. Разница между этими значениями и представляет собой объем снижения, который учитывается при расчете вознаграждения участника услуги.

Методы определения объема снижения представляют собой алгоритмы формирования базового или планового графика электропотребления, относительно которого оценивается величина фактического снижения нагрузки в часы команды.

Точность определения объема снижения имеет ключевое значение для корректного функционирования механизма УИРП. Высокая погрешность расчетных методов может приводить к завышению или занижению фактического эффекта снижения потребления. В первом случае формируется экономически необоснованное вознаграждение участника программы, а во втором потребитель не получает компенсацию за реально выполненное снижение нагрузки. Значительные ошибки в определении объемов снижения могут снижать эффективность использования управляемой нагрузки как инструмента регулирования режимов работы энергосистемы.

На практике обеспечение высокой точности оценки объема снижения осложняется рядом факторов, среди которых можно выделить изменчивость графиков электропотребления, сезонные и производственные колебания

нагрузки, а также необходимость прогнозирования базового уровня потребления на основе ограниченного объема исторических данных. В связи с этим выбор и корректное применение методов определения объема снижения является важной задачей при реализации механизмов УИРП.

Для участия в УИРП нужно пройти много этапов подготовки:

1. Регистрация нового субъекта оптового рынка – агрегатора или же заключение договора с уже существующим агрегатором.
2. Аттестация потребителя как агрегированного объекта управления, что включает в себя проверку системы учета и передачи данных и выполнение тестового выполнения команды.
3. Конкурсный отбор на квартал с возможностью участия в отдельные месяцы.
4. Расчет возможности применимости методов определения объема снижения.

Существуют три метода определения объема снижения:

1. **График базовой нагрузки (ГБН)** – расчетный график нагрузки, используемый для моделирования потребления объекта регулирования. Является основным, другие методы используются только в случае невозможности его применения.

ГБН формируется как среднее значение по каждому часу потребления из дней, которые включены в расчет. В расчет включаются последние 10 рабочих дней из не более чем 45 календарных дней. При этом в расчет не входят рабочие дни, в которые:

- отсутствуют фактическое потребление со статусом «коммерческая информация» в часы, определенные СО для 2 ценовой зоны – это с 5 по 18 часы в срок $X+2$, где X – это рассматриваемый рабочий день. Такие данные отправляются отдельным макетом коммерческому оператору (КО – АТС). Если макет не был отправлен или был отправлен со статусом «некоммерческая информация», то этот день автоматически не входит в расчет;
- потребитель заявил о нехарактерном графике потребления. АОУ вправе исключить из расчета рабочий день в срок $X+3$, если считает, что он значительно снижает итоговый ГБН;
- потребитель не заявил о готовности к снижению в срок $X-1$;
- происходили события снижения потребления.

Поскольку график базовой нагрузки формируется на основе исторических данных, он может отличаться от фактического уровня потребления в рассматриваемые сутки. Для повышения точности определения базового уровня потребления применяется механизм подстройки, позволяющий скорректировать расчетный график с учетом актуального уровня нагрузки потребителя.

Для ГБН используются следующие варианты расчета подстройки:

1. подстройка не применяется;
2. подстройка только по предыдущему дню (если предыдущий день выходной, то подстройка не применяется);
3. подстройка по предыдущему рабочему дню.

Целью подстройки является выравнивание ГБН под актуальное фактическое потребление. При этом если предшествующий рабочий день является рабочим, но исключен из расчета по причинам выше, то подстройка принимает нулевое значение. Выходит, что в случае, если команды на снижение идут подряд, то только первый день будет актуализирован под фактическое потребление.

Значение подстройки рассчитывается как среднее значение разностей фактического потребления в 12 и 13 час и ГБН для этого же дня. При этом подстройка ограничивается в размере 20% от значения ГБН в большую и меньшую сторону.

Пример расчета ГБН с подстройкой и без представлен в таблице 1.

Таблица 1

Окно построения для ГБН

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение потребления, МВт	18	17	18	19	17	18	19	17	18	19	22
Фактическое потребление X-1, МВт	22										
ГБН для X-1, МВт	18										
Подстройка, МВт	4										
План потребления X, МВт	23										
ГБН без подстройки, МВт	18,4										
ГБН с подстройкой, МВт	22,4										
Ограничение подстройки (20%), МВт	14,72 и 22,08										
Плановый объем снижения, МВт	8										
Объем снижения для дня X, МВт	без подстройки					12,6					
	с подстройкой					8,92					

По расчету видно, что подстройка значительно влияет на итоговый объем снижения. Но её существенным недостатком является то, что, если команды на снижение идут подряд, то она будет использоваться только для первой, а на последующие подстройка будет принимать нулевое значение.

2. **Максимальная базовая нагрузка (МБН)** – значения, которые устанавливаются потребителем для каждого часа суток и направляется СО. Совместно с подачей данных МБН рассчитывается условно максимальная нагрузка (УМН) аналогично формированию ГБН.

Объем снижения потребления определяется как разность между значением УМН и значением МБН, но если в часы снижения потребление выше значения МБН, то объем снижения принимается равным нулю.

3. **Заявленный график нагрузки (ЗГН)** – график отправляется потребителем СО в срок до 9:30 по МСК суток X-1.

Удобный и простой метод, но требует от потребителя определённого качества планирования и контроля за потреблением. Готовность к снижению снимается в случае, если в течение суток фиксируется пять и более часов с отклонением в 20% от планового объема снижения. Аналогичное решение принимается, если по данным коммерческого учета в семи и более часах диапазона

часов СО (для второй ценовой зоны – с 5 до 17 часов) фактическое потребление оказывается ниже величины планового снижения.

Расчет возможности применимости методов определения объема снижения проводится СО и направляется не позднее второго рабочего дня, предшествующего дате начала каждого расчетного периода [3].

Контролируемыми параметрами для применения **ГБН** являются:

- относительное среднеквадратическое отклонение (RRMSE) – для применения ГБН должно не превышать значения 0,2;
- среднеквадратическое отклонение (RMSE) – двойная величина не превышает планового объема снижения потребления.

Если хотя бы одно из условия не выполняется, то применение метода ГБН невозможно. Параметры рассчитываются на основе не менее 10 графиков базовой нагрузки для всех предыдущих рабочих дней, включенных в расчет по правилам применения ГБН. Если применение возможно, то вариант подстройки выбирается по минимальному значению RRMSE. Применение **МБН** возможно в случае превышения RRMSE значения 0,2.

Контролируемыми параметрами для применения **ЗГН** являются:

- относительное среднеквадратическое отклонение (RRMSE) – для применения ЗГН должно не превышать значения 0,2;
- среднеквадратическое отклонение (RMSE) – величина не превышает планового объема снижения потребления.

Если хотя бы одно из условий не выполняется, то применение метода ГБН невозможно. Для расчета ЗГН применяются не менее 7 рабочих дней с фактическим потреблением и заявленным графике нагрузке.

Можно сделать вывод, что ГБН применим только для потребителей с равномерным и постоянным графиком потребления. Положительные стороны: метод понятен и прост для потребителей в случае варианта без подстройки. Отрицательные стороны: для потребителей с сезонным характером потребления долгий перерасчет ГБН, что вызывает повышение необходимого объема снижения; несоответствие плану на завтрашний день; невозможность выбрать иные варианты подстройки.

МБН является самым непопулярным для использования по причине дополнительного условия к расчету фактического объема снижения. По сути является усложнённой версией ГБН.

ЗГН является самым простым методом, в связи с отсутствием расчетов иного графика для снижения, потребитель ориентируется на свой изначальный план, но с более строгим качеством планирования (при этом срок подачи планируемого потребления на завтрашние сутки сокращается на 4 часа).

Особенностью метода ЗГН является зависимость объема снижения от заявленного графика потребления. При этом существующие критерии контроля готовности допускают отклонения фактического потребления от заявленного графика в течение ограниченного числа часов. Это создает возможность для участников намеренно формировать завышенный план потребления в часы

предполагаемого снижения, что потенциально приводит к уменьшению объема снижения.

Подводя итоги, можно выделить основные проблемы:

1. зависимость ГБН от исторического окна;
2. невозможность корректной подстройки при серии команд;
3. сложность применения МБН;
4. риск манипулирования ЗГН.

Особенности применения различных методов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица методов

Метод	Основная идея	Требования к графику потребления	Риски	Особенности
ГБН	Расчет базового профиля по истории	Стабильность	Особенности при расчете подстройки	Плохо работает при сезонном характере потребления
МБН	Фиксированный максимум потребления	Стабильность и контроль	Превышение МБН	Редко используется, нельзя выбрать самостоятельно
ЗГН	План потребления	Высокая точность планирования	Возможность манипуляции	Самый гибкий метод, нельзя выбрать самостоятельно

По статистическим характеристикам изменчивости временного ряда или показателям статистического разброса данных можно оценить возможность применимости методов. Для исследования различных показателей характеристик сравним потребителей с одинаковым плановым объемом снижений в таблице 3. Рост коэффициента вариации свидетельствует об увеличении нестациональности графика электропотребления, что приводит к ухудшению качества аппроксимации базовой нагрузки и увеличению значений RRMSE. Увеличение коэффициента осцилляции указывает на рост амплитуды колебаний нагрузки, что снижает точность формирования графика базовой нагрузки на основе исторических данных.

Таблица 3

Показатели разброса данных

Номер месяца, N	1	2	3
Плановый объем снижения, МВт	8	8	8
RMSE, МВт	3,37	5,52	5,40
2.0xRMSE, МВт	6,75	11,04	10,80
RRMSE, о.е.	0,11	0,27	0,28
Среднее потребление, МВт·ч	30,12	23,96	17,12
Среднее отклонение	3,36	5,36	4,38
Коэффициент заполнения	0,95	0,95	0,93
Коэффициент осцилляции	0,50	0,86	1,09
Коэффициента вариации	0,11	0,22	0,26
Применимость ГБН	Применим	Не применим	Не применим
Итоговый метод	ГБН	ЗГН	ЗГН

Проведенный расчет дополнительных статистических показателей показал, что ухудшение применимости метода графика базовой нагрузки напрямую связано с увеличением неустойчивости графика электропотребления. Рост коэффициента вариации, коэффициента осцилляции и среднего отклонения приводит к увеличению ошибки аппроксимации базовой нагрузки, что выражается в превышении допустимого значения показателя RRMSE.

Для сравнения точности определения методов объема снижения можно смоделировать необходимый объем снижения по каждому из методов при плановом объеме снижения 8 МВт на рисунке 1.

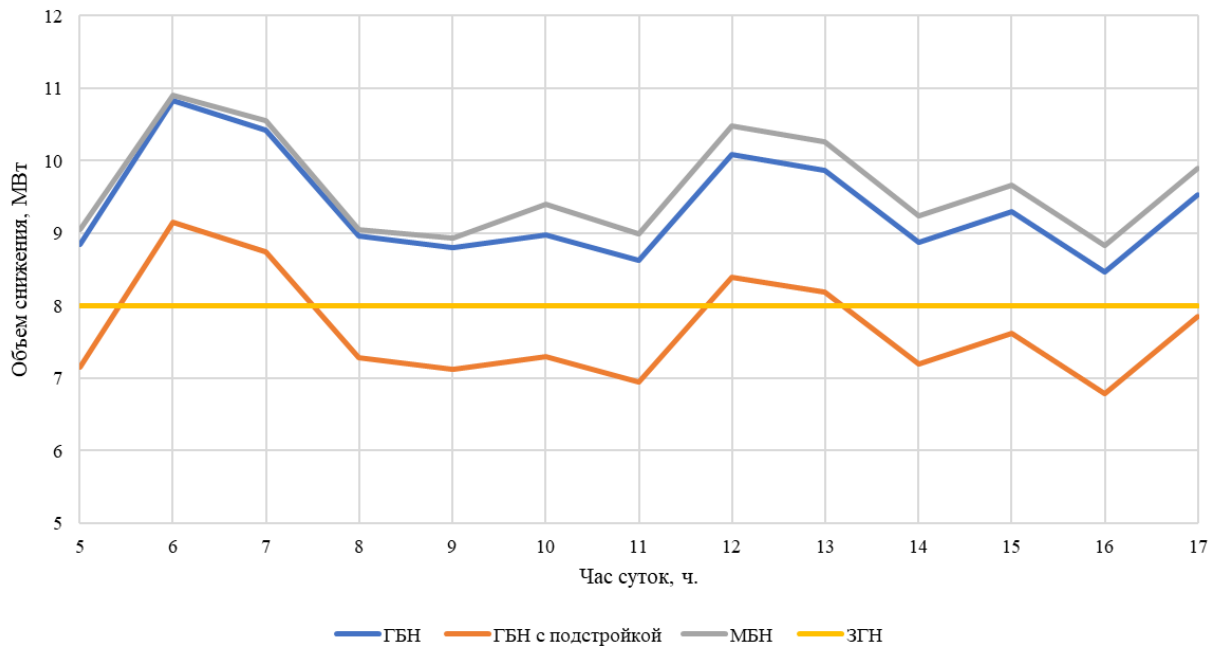


Рисунок 1. Объем снижения потребления при различных методах

Полученные результаты показывают, что ЗГН обеспечивает полное соответствие расчетного и планового объема снижения.

При использовании ГБН с подстройкой расчетный объем снижения изменяется в диапазоне примерно от 6,5 до 9,2 МВт. Таким образом, отклонение от планового значения достигает около 1,5 МВт, что составляет до 19 % от заданного объема снижения.

Методы ГБН и МБН формируют значения объема снижения, превышающие плановый уровень во всех рассматриваемых часах. Для метода ГБН расчетные значения достигают 10,8 МВт, что соответствует относительному отклонению до 35 %. Для метода МБН максимальное значение составляет 10,9 МВт, что приводит к относительному отклонению до 36 %.

Таким образом, методы, основанные на использовании исторических графиков электропотребления, характеризуются систематическим завышением требуемого объема снижения, при этом относительное отклонение может достигать 35-36 % от планового значения.

Список литературы:

1. РЕЕСТР итогов отбора ресурса по управлению изменением режима потребления на 1 квартал 2026 года // АО «СО ЕЭС» URL: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/markets/asm/changes_consum/2026/canges_consum_1q_2025_fin.pdf (дата обращения: 02.03.2026).
2. Нерегулируемые цены для потребителей с почасовым учётом// ПАО «Кузбассэнергосбыт» URL: <https://kuzesc.ru/tariffs-and-prices/nereguliruemye-ceny> (дата обращения: 02.03.2026).
3. Приложение № 19.9.2к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка «РЕГЛАМЕНТ УЧАСТИЯ НА ОПТОВОМ РЫНКЕ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ УСЛУГ ПО УПРАВЛЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЕМ РЕЖИМА ПОТРЕБЛЕНИЯ» Ассоциация «НП Совет рынка» URL: https://www.npsr.ru/sites/default/files/sr_regulation/reglaments/r19_9_2_01012026_25122025.pdf (дата обращения: 02.03.2026).