

пользования традиционных энергоресурсов. Серьезные меры предпринимаются по освоению арктических богатств, вопреки попыткам западных конкурентов «обнулить углеродный след» и заставить Россию отказаться от освоения Арктики.

#### Литература

1. Regularities of the formation of structural fields of daily gas consumption of the regional gas supply system / D. Moroz, N. Hruntovich, A. Kapanski [et al.] // E3S Web of Conferences, Saint-Petersburg, 29–30 oct. 2020 г. – Saint-Petersburg, 2020. – P. 01076. – DOI 10.1051/e3sconf/202022001076.
2. Study of gas consumption patterns for sheet glass enterprises / Y. Shenets, D. Moroz, N. Hruntovich [et al.] // E3S Web of Conferences, Prague, 14–15 may 2020 y. – Prague, 2020. – P. 01039. – DOI 10.1051/e3sconf/202017801039.
3. Optimize the cost of paying for electricity in the water supply system by using accumulating tanks / A. Kapanski, N. Hruntovich, S. Bakhur [et al.] // E3S Web of Conferences, Prague, 14–15 may 2020 y. – Prague, 2020. – P. 01065. – DOI 10.1051/e3sconf/202017801065.
4. Голубцов, Н. В. Проблемы перехода к энергосберегающему управлению / Н. В. Голубцов, О. В. Федоров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 6 (99). – С. 146–149.
5. В 2020 году в мире был отмечен рекордный прирост возобновляемых энерго мощностей. – Режим доступа: <http://www.finmarket.ru/news/5443465>. – Дата доступа: 03.10.2021.

УДК 621.311

## РАЗВИТИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. Г. Жуковец, Е. В. Койпиш

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Предлагается использование кластерного анализа (структурной группировки) для оценки энергетической эффективности как новых производств, так и длительно функционирующих производств. По динамике вида структурных моделей и их показателей предлагается оценивать энергетическую эффективность. Представлены результаты исследования структуры электропотребления нового завода по выпуску беленой целлюлозы.*

Использование математико-статистического моделирования и методов анализа позволяет учитывать как качественные, так количественные изменения, которые затронули в последние годы промышленные производства Республики Беларусь. Режимы энергопотребления зависят от многих факторов, подверженных значительным возмущениям. Одним из возможных путей учета структурной неоднородности является применение аппарата кластерного анализа. На первом этапе исследования режимов электропотребления производств для оценки эффективного использования ЭЭ можно провести *кластеризацию суточного электропотребления* ( $W_{\text{сут}}$ ). Кластерный анализ (структурная группировка) представляет собой методологию проведения классификации неоднородных статистических данных [1], [2]. Целью анализа является выделение в исходных многомерных данных однородных подмножеств, чтобы объекты внутри групп были похожи в известном смысле друг на друга, а объекты из разных групп – не похожи. Применительно к задаче классификации  $W_{\text{сут}}$  либо любого другого энергоресурса предполагается разбиение совокупности суточного расхода ресурса на группы, объединяющие дни с близкими значениями в классе. Если по оси  $X$  отложить количество дней в классе, а по оси  $Y$ , среднесуточное

электропотребление класса  $W_{\text{ср.сут}}$ , то получим структурную модель  $W_{\text{сут}}$ , которая позволяет оценить действующие режимы производства (рис. 1). Для рабочей части структурной модели  $W_{\text{сут}}$ , а также для промышленных предприятий с непрерывным режимом работы было установлено три вида структурных моделей  $W_{\text{сут}}$ : с верхним расположением базисной ступени; со средним расположением базисной ступени; с нижним расположением базисной ступени. Знание закономерностей структуры  $W_{\text{сут}}$  позволяет оценивать эффективность существующих режимов электропотребления, давать оценку стабильности режимов работы предприятия. О стабильности режимов электропотребления и отлаженности технологического процесса свидетельствует большая временная емкость базисного класса (60–95 % рабочих дней предприятия) и незначительная величина отклонения среднесуточного электропотребления дополнительных классов относительно базисной ступени (5–10 %). В 90-х гг. при общем спаде производства режимы работы предприятий стали нестабильными. Нестабильность режимов работы промпредприятий сказалась на их структуре электропотребления: у большинства предприятий структурная модель суточного электропотребления трансформировалась в модель с дроблением ступеней, в которой невозможно выделить базисный класс. Промышленные потребители, имеющие модель потребления ТЭР с дроблением ступеней, первыми ощутили на себе сложности прогнозирования и нормирования расхода ТЭР, так как их режимы работы отличает многовариантность, учесть которую не представляется возможным с использованием аналитических подходов и месячной, квартальной статистики по потреблению ЭЭ и технологическим показателям. Чем большая временная емкость базисного класса и чем меньше величина отклонения среднесуточного потребления ЭЭ дополнительных классов относительно базисной ступени, тем отлаженнее у предприятия технологический процесс и тем стабильнее оно работает.

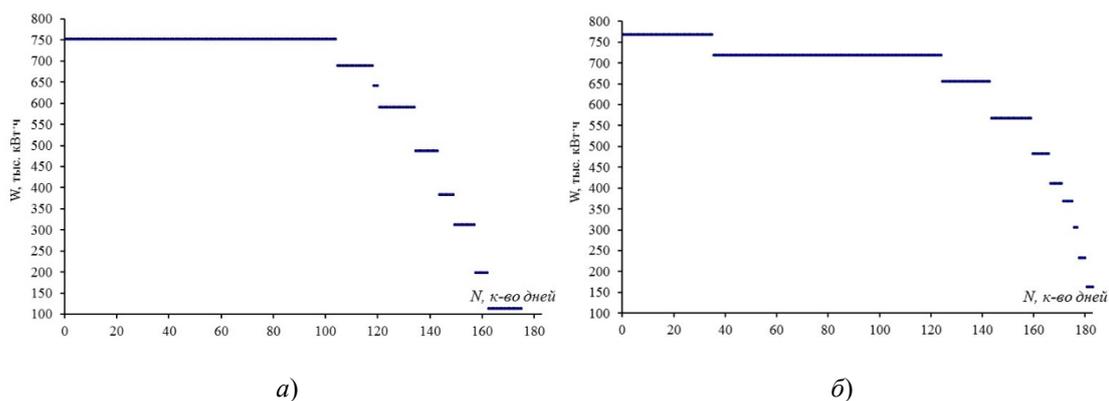


Рис. 1. Структурная модель суточного электропотребления нового производства беленой целлюлозы за весенне-летний (а) и осенне-зимний периоды (б) 2020 г.

Анализ параметров структурных моделей позволяет отследить динамику суточных режимов  $W_{\text{сут}}$  как новых производств, так и длительно функционирующих производств (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики классов структурной группировки  $W_{\text{сут}}$  нового завода беленой целлюлозы за весенне-летний период 2020 г.

$K_i$	Среднесуточное потребление ЭЭ класса, тыс. кВт · ч	Количество дней в классе, сут	Чистота класса $V$ , %	Процент от общего потребления за период, %
1	752,9	104	2,53	71,4
2	690,2	14	2,22	8,8
3	642,0	2	0,44	1,2
4	591,1	14	3,25	7,6
5	488,7	9	4,10	4,0
6	384,0	6	6,82	2,1
7	312,8	8	5,90	2,3
8	199,8	5	6,05	0,9
9	114,3	13	17,46	1,4
10	48,2	8	18,66	0,4
<i>Итого</i>	109598,2	183	–	100,0

У базисного класса  $W_{\text{ср.сут}} = 752,9$  тыс. кВт · ч, временная емкость 104 дня, процент потребления ЭЭ базисного класса от суммарного расхода ЭЭ составляет 71,4 %. Коэффициент вариации базисного класса составил 2,53 %. Помимо базисного класса можно выделить три дополнительных класса  $K_2$ ,  $K_4$ ,  $K_9$ , имеющих более низкие значения среднесуточного электропотребления, чем у базисного класса. Суммарная временная емкость базисного и дополнительных классов составит 145 сут, или 79 % от количества суток за период. Однако наибольший интерес представляет именно динамика во времени показателей структурных моделей режимов электропотребления.

В табл. 2 приведены укрупненные сведения о структуре электропотребления нового завода по выпуску беленой целлюлозы за 2019–2021 гг.

Таблица 2

Укрупненные сведения о структуре электропотребления нового завода по выпуску беленой целлюлозы за 2019–2021 гг.

Показатель	2019 г.		2020 г.		2021 г.
	осенне-зимний период	весенне-летний период	осенне-зимний период	весенне-летний период	8 месяцев года
Вид структурной модели суточного электропотребления	Модель с верхним расположением базисной ступени				
Наличие класса объединяющего дни минимального электропотребления (продукция не производится, ремонт оборудования и др.)	отсутствует	присутствует	отсутствует	присутствует	присутствует
$W_{\text{ср.сут}}$ , тыс. кВт · ч	–	116,2	–	114,3	85,4
$N$ , сут	–	27	–	13	12

Окончание табл. 2

Показатель		2019 г.		2020 г.		2021 г.
		осенне-зимний период	весенне-летний период	осенне-зимний период	весенне-летний период	8 месяцев года
Базисный класс (ступень)						
$W_{\text{ср.сут}}$ , тыс. кВт · ч		690,0	705,3	719,1	752,9	762,3
$N$ , сут		79	50	89	104	134
Коэффициент вариации базисного класса $V$ , %		2,81	2,06	2,03	2,53	2,98
Процент от общего потребления за период по базисному классу, %		54,2	40,7	52,8	71,4	66,6
Дополнительные классы						
Количество, ед.		5	2	3	2	3
1	$W_{\text{ср.сут}}$ , тыс. кВт · ч	616,7	641,3	768,6	690,2	683,4
	$N$ , сут	19	26	35	14	34
2	$W_{\text{ср.сут}}$ , тыс. кВт · ч	542,3	467,2	656,5	591,1	627,1
	$N$ , сут	19	20	19	14	22
3	$W_{\text{ср.сут}}$ , тыс. кВт · ч	501,7	–	569,4	–	533
	$N$ , сут	10	–	16	–	11
4	$W_{\text{ср.сут}}$ , тыс. кВт · ч	450,3	–	–	–	–
	$N$ , сут	17	–	–	–	–
5	$W_{\text{ср.сут}}$ , тыс. кВт · ч	338,3	–	–	–	–
	$N$ , сут	11	–	–	–	–

Как видно из сводной табл. 2 по комплексной оценке структуры суточного электропотребления завода, структурная модель  $W_{\text{сут}}$  имеет вид с верхним расположением базисной ступени. Вид модели устойчив во времени. У моделей весенне-летних периодов 2019, 2020 и 2021 гг. имеются классы, объединяющие дни (от 10 до 30 сут) с минимальным значением электропотребления, что может быть обусловлено пуско-наладочными режимами. Отмечается устойчивая тенденция роста среднесуточного расхода ЭЭ базисного класса (режима)  $W_{\text{ср.сут}}$ , который с осенне-зимнего периода 2019 г. по 2021 г. увеличился в 1,1 раза, при одновременном увеличении временной емкости базисного класса. В 1,7 раза возросла временная емкость базисного класса. Коэффициент вариации базисного класса за исследуемый период не превысил 3 %, что говорит не только о высоком качестве структурной группировки суточных значений электропотребления, но и схожести режимов базисного класса. В исследуемом периоде отмечено и повышение веса базисного класса в общем электропотреблении: 40,7 % в 2019 г. до 71,4 % в 2020 г. *Отладка технологического процесса и постепенный выход предприятия на проектные режимы прослеживаются на снижении числа дополнительных классов.* Так, если в 2019 г. в осенне-зимний период (I–IV кварталы) наряду с базисным классом выделялось 5 дополнительных классов с временной емкостью от 10 до 19 суток, то в I–IV квартале 2020 г.

и за восемь месяцев 2021 г. можно выделить три дополнительных класса. А за осенне-летние периоды 2019 и 2020 гг. в структурных моделях суточного электропотребления выделяется два класса (режима).

#### Литература

1. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. – М. : Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
2. Родина, Л. С. Разработка универсальных структурных моделей суточного электропотребления промышленных предприятий / Л. С. Родина, Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков // Изв. вузов. Электромеханика. – 1992. – № 2. – С. 101–104.
3. Токочакова, Н. В. Структурное моделирование суточного электропотребления промышленных предприятий энергосистемы для быстрой оценки электросбережения / Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков, Т. В. Алферова // Энергоэффективность. – 2001. – № 2. – С. 18–21.

УДК 621.317

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Д. И. Зализный, Д. В. Сучков

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Рассмотрены современные тенденции развития и принципы работы электронных низковольтных коммутационных аппаратов. Предложено использовать математические модели тепловых процессов для защиты линий электропередачи от перегрузки. Описан макет электронного автоматического выключателя, разработанный на кафедре «Электроснабжение», оснащенный коммутационным модулем на основе симистора.*

Электромеханические низковольтные коммутационные аппараты за многолетнюю эксплуатацию зарекомендовали себя как надежные и удобные для эксплуатации устройства. Однако главным их недостатком являются слабые функциональные возможности. Один такой аппарат способен выполнять не более двух-трех операций и почти не имеет возможностей программирования уставок, а также дистанционного управления через цифровые интерфейсы связи. Для устранения этих недостатков в состав электромеханических аппаратов вводят электронные блоки или же дополняют их электроприводами с цифровыми модулями.

В последние десятилетия на рынке все чаще появляются микропроцессорные низковольтные коммутационные аппараты: автоматические выключатели, пускатели, реле. Структурная схема такого устройства показана на рис. 1.

На вход аппарата подается напряжение электрической сети, а его выход, соответственно, подключается к защищаемой или коммутируемой линии электропередачи. Ток нагрузки проходит непосредственно через внутренние цепи аппарата, что позволяет измерить его значение в аналоговом блоке, где осуществляется также и измерение напряжения.

Измеренные величины в виде двоичных кодов записываются в память микроконтроллера, программное обеспечение которого выполняет требуемые математические расчеты, сравнивает полученные значения с уставками, выдает информацию на дисплей, обменивается данными через интерфейсы связи и управляет работой блока коммутации.