



КАЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

**Международная научно-
техническая конференция
«Технологический суверенитет
и цифровая трансформация»**



**■ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КЛАСТЕРНЫЙ
АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ
УКРУПНЕННЫХ БАЛАНСОВЫХ ГРУПП
РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**



**Республика Беларусь
Д.т.н., профессор
Грунтович Н.В.
К.т.н., доц. Капанский А.А.**



Протяженность сетей природного газа – **63,2** тысячи километров

Газом обеспечены
115 городов,
84 городских
и рабочих поселка,
3316 сельских
населенных пунктов,
1010 агрогородков

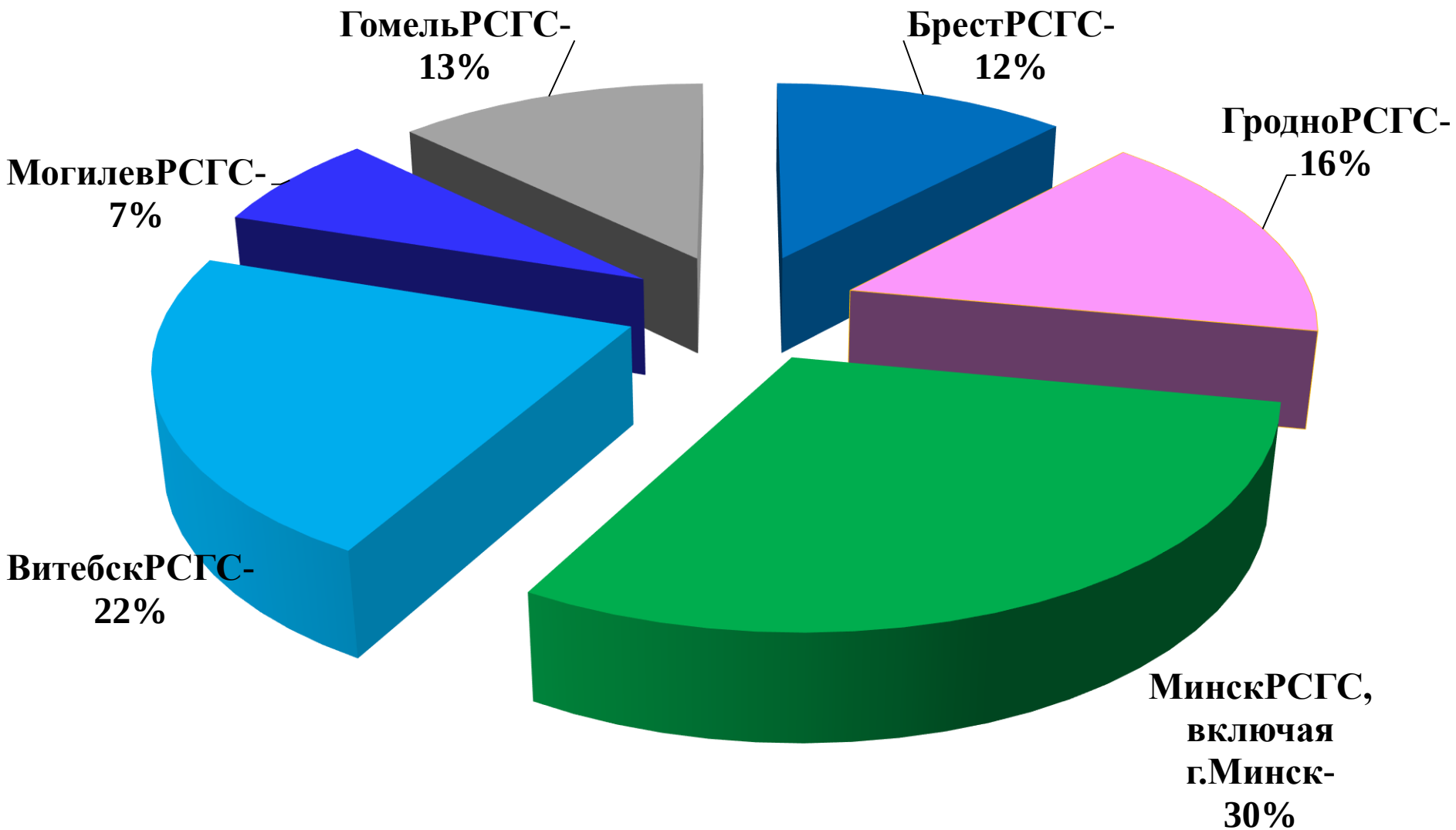


Потребителями газа
являются
более **3,7** млн
владельцев
квартир и домов
и порядка 10 тысяч
организаций

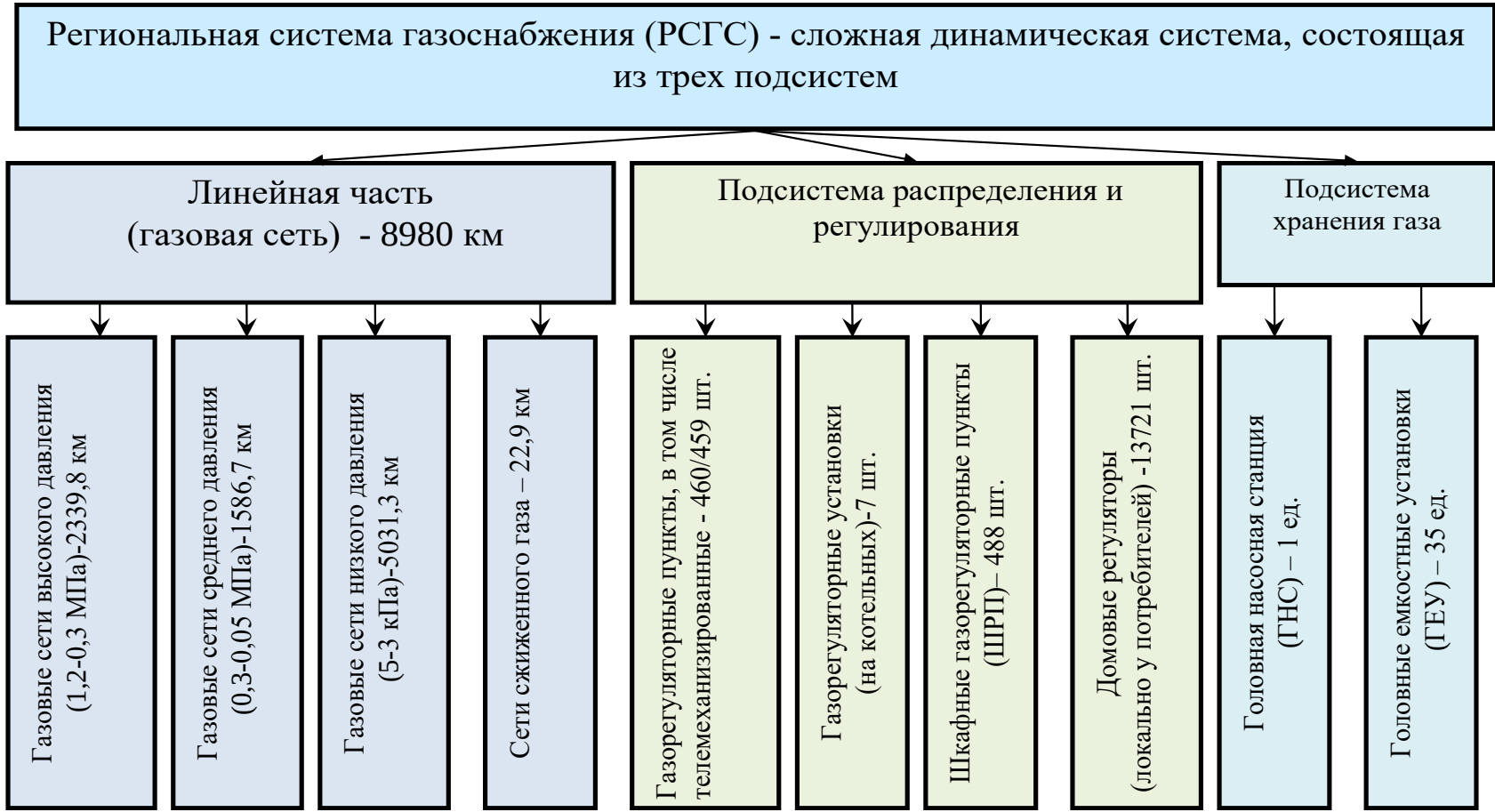


В среднем за год
реализуется
19-19,5 млрд
кубических метров
природного газа





РСГС это большая (по количеству входящих в нее элементов, так и по количеству и структуре потребителей) , многоуровневая, динамическая технологическая система, основной задачей которой является обеспечение безопасной и бесперебойной подачи природного и сжиженного газа потребителям.



Из всего комплекса задач функционирования и развития РСГС наиболее острыми на сегодняшний день являются:

- 1. Составление заявок планируемого объема поставок газа.***
- 2. Разработка проектов развития и реконструкции систем газоснабжения и хранения газа.***
- 3. Формирование тарифов на газ для различных групп потребителей при учете рентабельности их производств.***

Укрупненные балансовые группы РСГС и исследование закономерностей их функционирования

УКРУПНЕННЫЕ БАЛАНСОВЫЕ ГРУППЫ РСГС (ПОДАЧА)

УБГ «ЭНЕРГЕТИКА»

УБГ "Промышленность"

УБГ "Население"

УБГ "Сельское хозяйство"

УБГ "Минжилкомхоз"

**УБГ "Сельское
хозяйство";
3,48%**

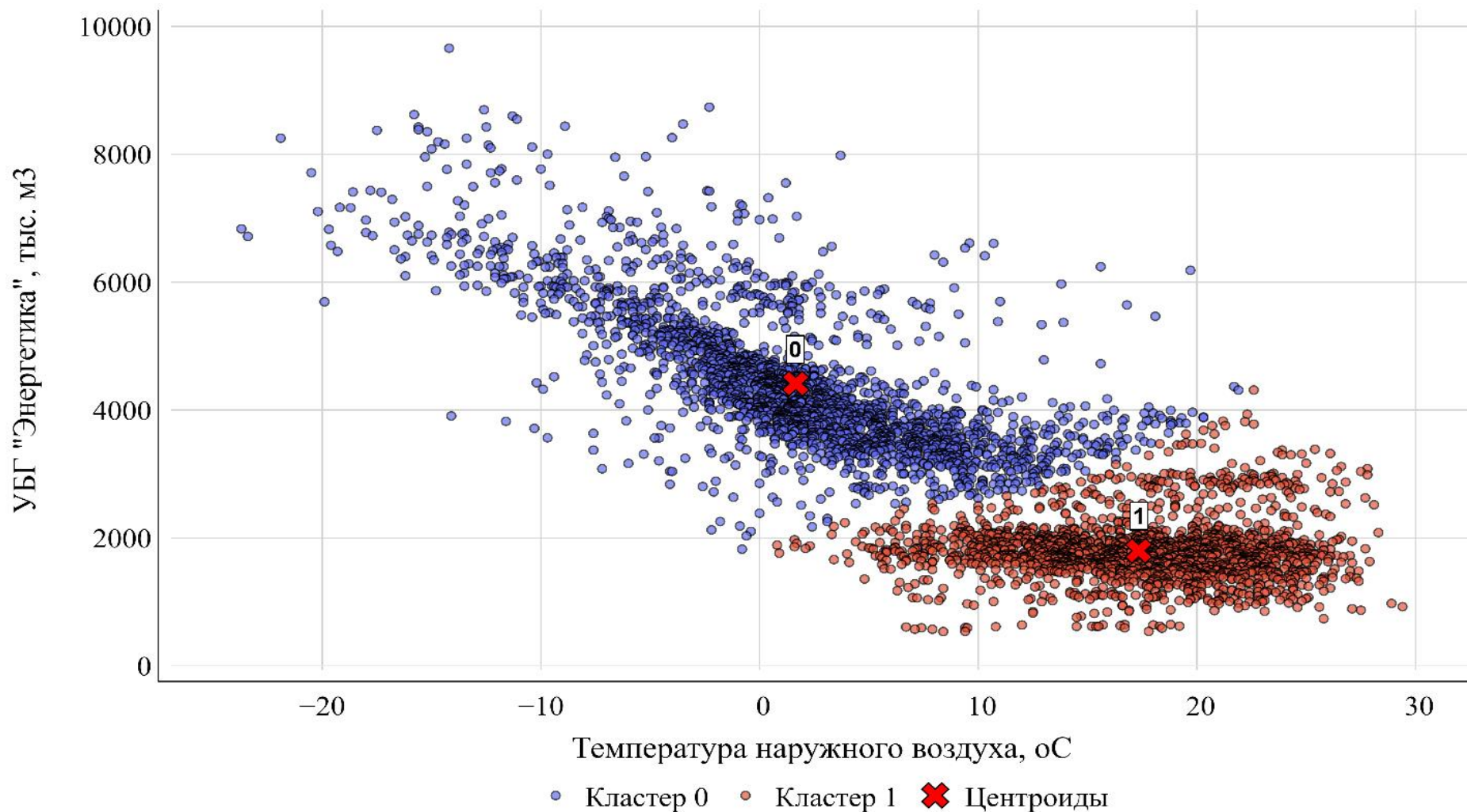
**УБГ
"Минжилкомхоз";
5,21%**

**УБГ
"Промышленность";
34,12%**

**УБГ
"Энергетика";
43,44%**

**УБГ
"Население";
13,75%**

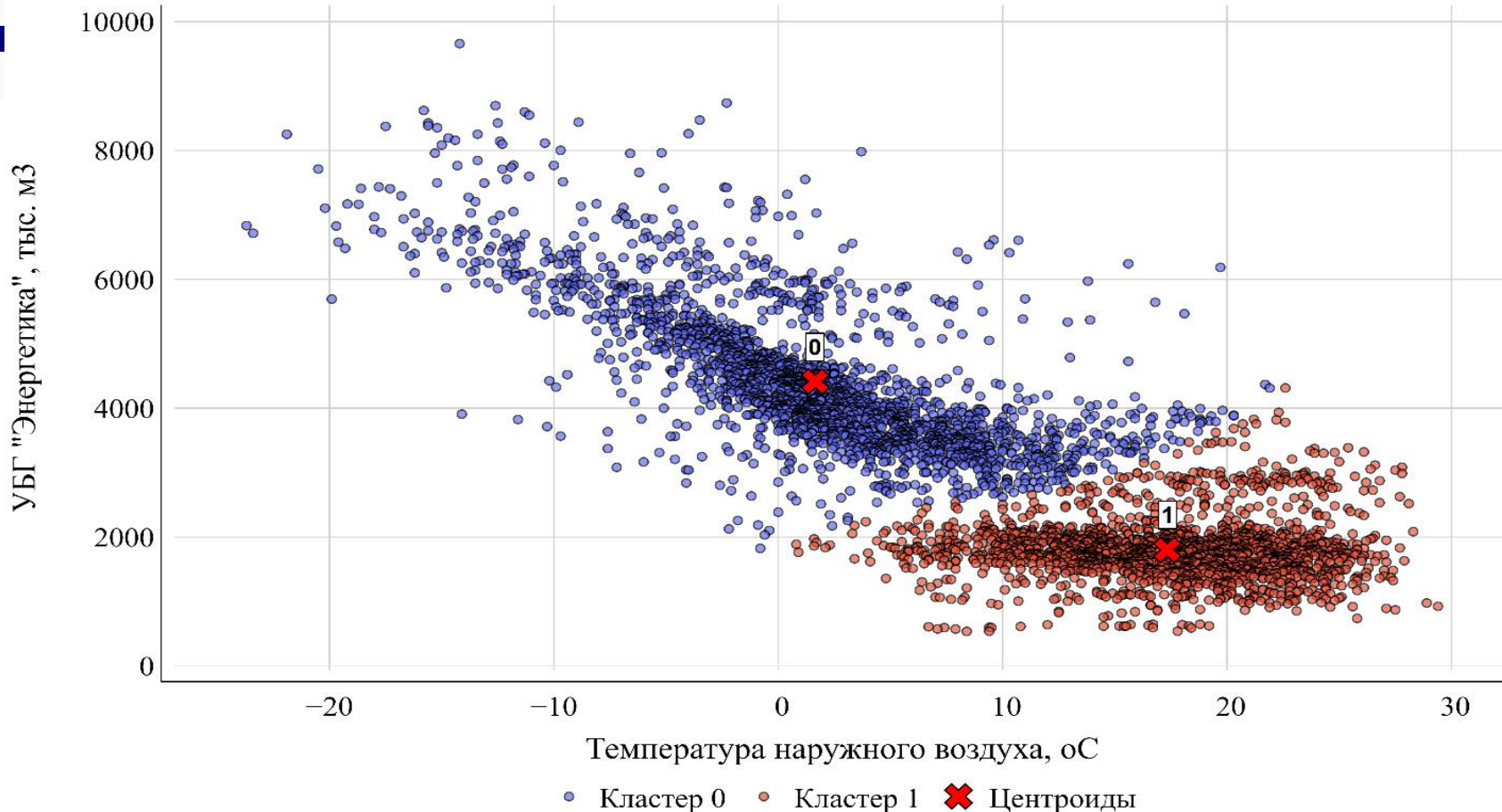
Для построения прогнозных моделей необходимо исследование структурных полей суточного потребления газа по укрупненным группам и элементам балансовой структуры РСГС



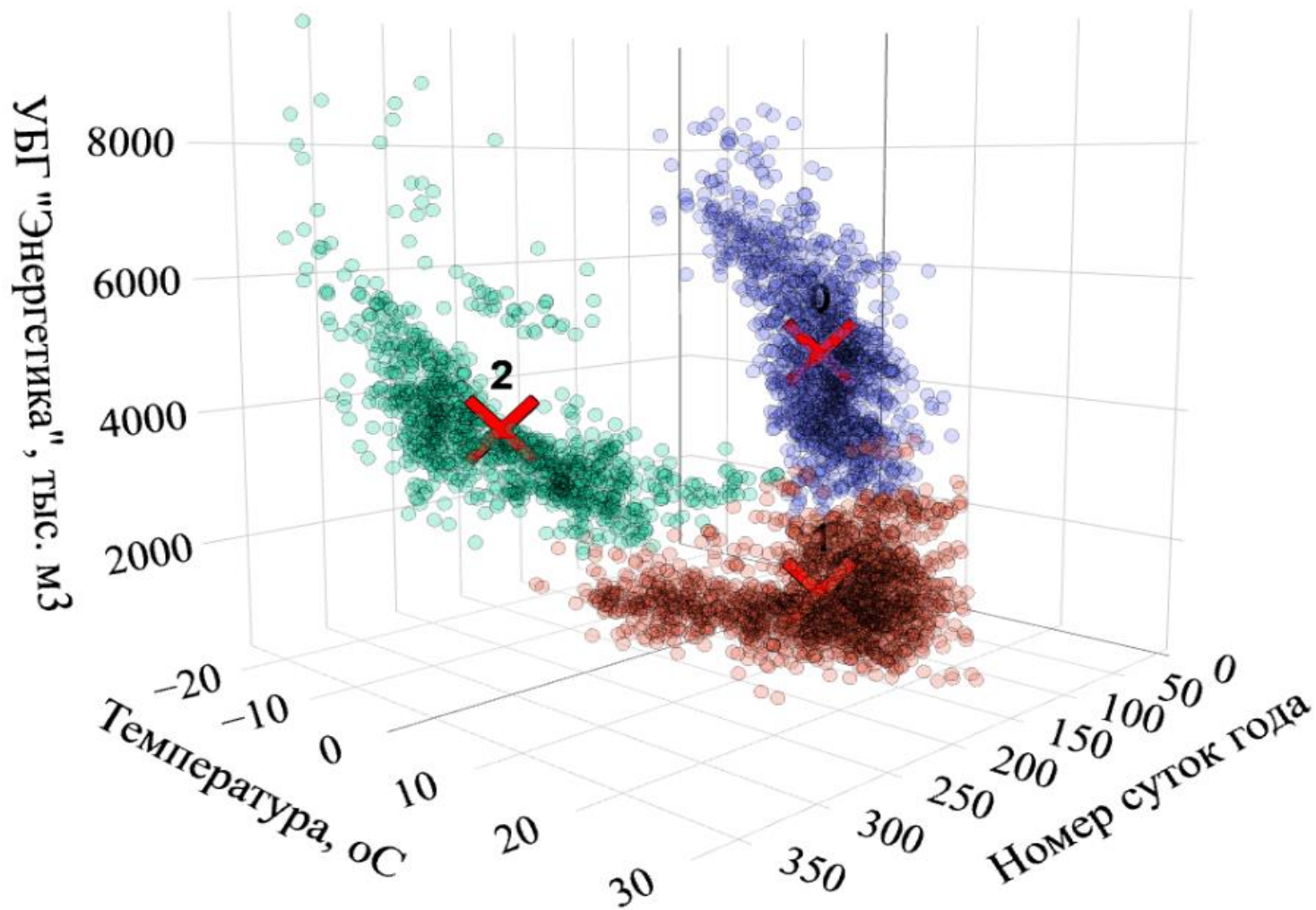
■ **Многопараметрический кластерный анализ – передовой инструмент для изучения и понимания режимов газопотребления, позволяя не только выявить закономерности, но и формулировать эффективные стратегии для управления газопотреблением.** В качестве методологической основы используются такие методы кластеризации, такие как плотностный метод (DBSCAN) и классический алгоритм *k*-средних

■ **Метод k -средних** – один из самых распространённых методов, предполагающий *предварительное задание числа кластеров*. Он работает на основе минимизации суммы квадратов расстояний от объектов до центров их кластеров. Этот метод эффективен для больших объемов данных и часто используется в задачах, где кластеры предположительно имеют сферическую форму.

■ **Плотностная кластеризация или DBSCAN** (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) – метод, который классифицирует точки в зависимости от их плотности распределения. Особенностью DBSCAN является способность определять кластеры произвольной формы и успешно отделять шумы, что делает его подходящим для данных с комплексной структурой и выбросами в данных.



Данные разделились на два основных кластера. Кластер 0 (синий): охватывает данные при низких температурах и высоком потреблении газа. Этот кластер характеризуется чёткой и сильной зависимостью от температуры наружного воздуха. При снижении температуры наблюдается существенное увеличение потребления газа. Сумма потребления газа в этом кластере за период с 2012 по 2023 год составляет **74,9%** от общей суммы потребления. Количество суточных значений газа в этом кластере **54,9%** от всех данных. **Кластер 1 (красный):** включает данные при более высоких температурах и меньшем потреблении газа. Отмечается значительная вариативность данных и меньшая зависимость от температуры. Потребление газа в этом кластере менее предсказуемо и может зависеть от других факторов. Сумма потребления газа в этом кластере составляет **25,1%** от общей суммы потребления. Количество значений газа в этом кластере **45,1%** от всех данных.



кластеризация показала, что значительное количество дней в году распределяется по трем кластерам, что помогает выявить сезонные паттерны в потреблении газа.

- Кластер 0
- Кластер 1
- Кластер 2
- ✗ Центроиды

Стратегии управления и планирования газоснабжения должны учитывать эту многомерность данных, опираясь на подробный анализ каждого кластера. Включение суточных данных позволяет не только прогнозировать общий объём потребления, но и адаптировать поставки газа к динамике потребительских нужд, обеспечивая более высокую эффективность прогнозирования потребности в газе.

Направление группы потребления	Описание значимых кластеров	Предположительный вид модели	Примечание
УБГ «Энергетика»	В годовом разрезе выделяются три кластера, которые отражают модели потребления газа в зимний и летний периоды. Два кластера относятся к зимнему периоду, где потребление газа увеличивается из-за отопления, а третий кластер представляет летний период, характеризующийся сниженным потреблением.	На данном этапе принята комбинированная модель линейной регрессии, которая будет адаптирована к сезонной динамике потребления. Модель должна включать механизмы для автоматического переключения между моделями разных кластеров.	Группа «Энергетика» формирует 50,1% общего потребления газа, что делает её ключевым сектором в энергопотреблении. Температура объясняет 70,2% вариативности в потреблении, подчеркивая важность сезонного подхода в прогнозировании. Эффективность модели может быть повышена за счет включения дополнительных факторов, таких как объемы производства электрической энергии и др.

ВЫПОЛНЕНА РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОСВЯЗИ СУТОЧНОГО РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА И ТЕМПЕРАТУРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА по УБГ «Энергетика»

Используется **линейная регрессия с кластеризацией данных**, которая позволяет учитывать зависимость потребления газа от температуры наружного воздуха:

$$\hat{G}_{i,en}^k(T) = \alpha_k + \beta_k T_i,$$

уравнение регрессии для **отопительного периода**: $\hat{G}_{en}^1(T) = 4543,29 - 138,04 \cdot T$.
для **межотопительного периода**: $\hat{G}_{en}^2(T) = 2456,48 - 38,24 \cdot T$.

Качество модели на квартальном наборе данных оцениваемое по средней абсолютной процентная ошибка (MAPE) по всем периодам составила **4,41%** (усредненный квартальный показатель), **по годовым данным – 1,35%.**

**Спасибо за
внимание!**

