

БУ ВО ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА — ЮГРЫ  
«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Политехнический институт

# «Перспективы применения алгоритмов кластеризации для анализа работы фонда скважин на месторождениях»

**Ботанин Вячеслав Сергеевич**

Аспирант направления

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

E-mail: [botaninvs@mail.ru](mailto:botaninvs@mail.ru)

**Галкин Валерий Алексеевич**

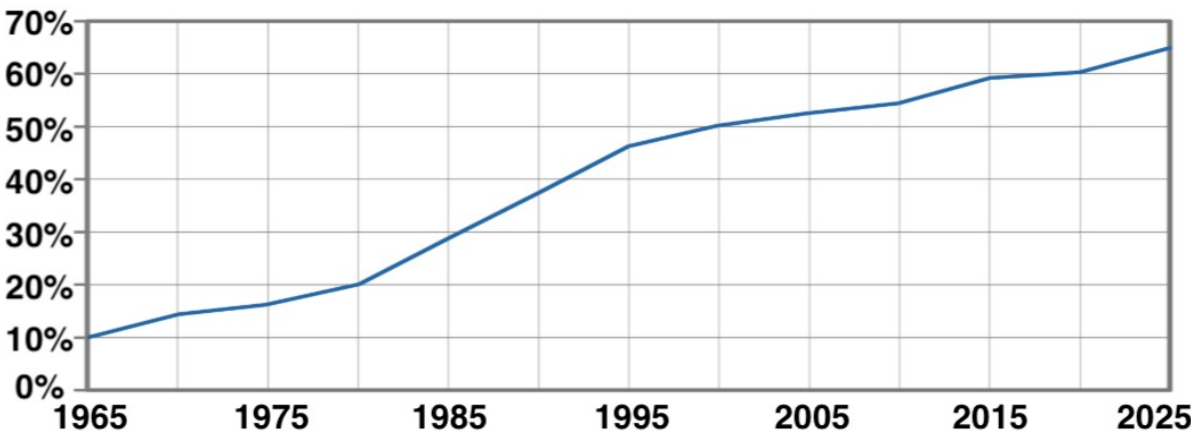
д-р физ.-мат. наук, профессор



В настоящее время, в нефтегазовом секторе РФ доля трудноизвлекаемых запасов (далее – ТРИЗ) стремительно растет и на 2025 год составляет приблизительно 65%.

Для оптимизации выработки ТРИЗ одним из наиболее перспективных решений является интеграция машинного обучения (далее – МО) в процессы текущего анализа и дальнейшего планирования разработки месторождений.

Таким образом, **целью работы** является выявление перспектив применения МО на базе алгоритмов кластеризации для анализа работы фонда скважин месторождения и упрощения дальнейшего принятия решений по разработке.

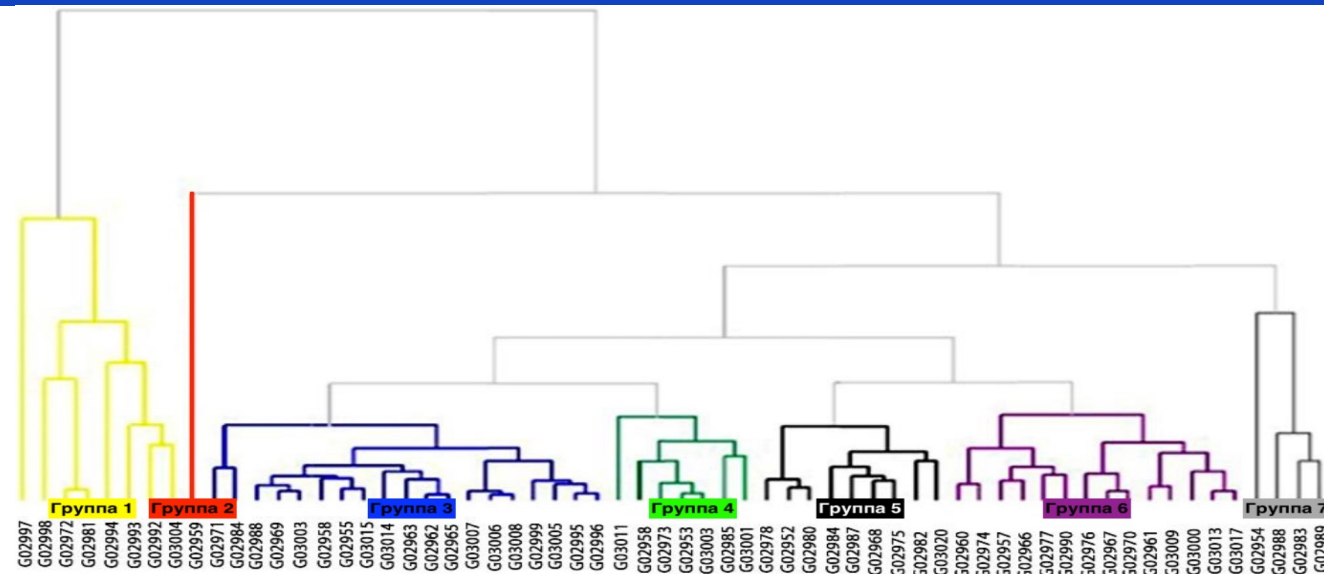


Рост доли ТРИЗ по РФ в целом и распределение ТРИЗ по ФО РФ согласно исследованиям «SOCAR Proceeding»

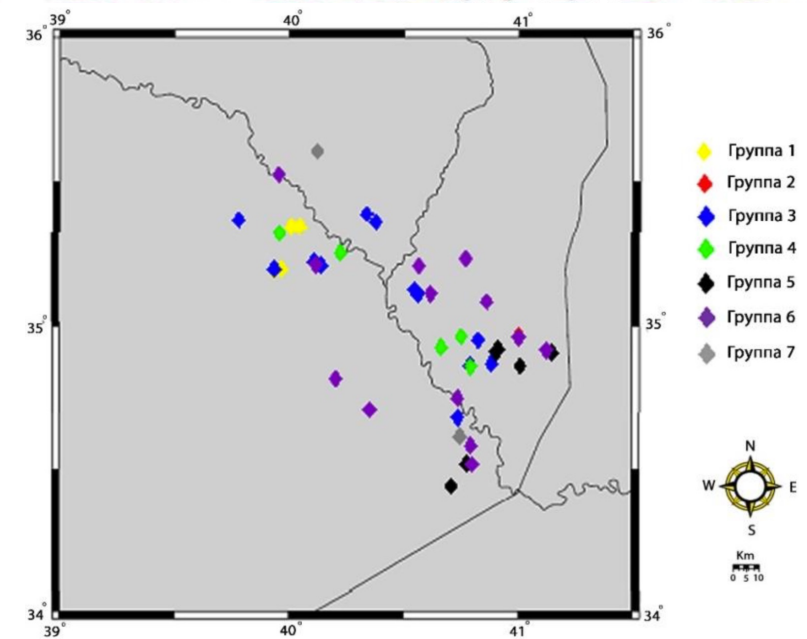
В данной таблице представлен свод существующих и предполагаемых решений на базе МО в области анализа работы фонда скважин месторождения.

| АСПЕКТ РАБОТЫ<br>ФОНДА СКВАЖИН                                | РЕШАЕМЫЕ<br>ЗАДАЧИ                                                                                                               | СУЩЕСТВУЮЩИЕ<br>РЕШЕНИЯ                                                    | ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ<br>РЕШЕНИЯ                               |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Анализ текущей добычи<br>(добывающий фонд)                    | 1. Мониторинг за текущим дебитом<br>2. Выделение осложненного фонда<br>3. Выявление интерференционных процессов на фонде скважин | Выявление интерференции при помощи полносвязной нейронной сети             | Кластеризация фонда по схожим ключевым показателям      |
| Анализ выработки запасов<br>(добывающий фонд)                 | 1. Составление карты зон остаточных извлекаемых запасов<br>2. Оценка текущего КИН                                                | Отсутствуют в настоящее время                                              | Кластеризация зон остаточных извлекаемых запасов        |
| Анализ поддержки пластового давления<br>(нагнетательный фонд) | 1. Составление карты изобар (давлений в пластах)<br>2. Статистика приемистости                                                   | Построение карты изобар с поддержкой нейронной сети                        | Кластеризация на основе расчетных параметров влияния    |
| Подбор и анализ ГТМ<br>(совокупный фонд)                      | 1. Подбор скважины-кандидата для проведения ГТМ<br>2. Мониторинг эффективности проведенного ГТМ                                  | Моделирование (математическое, гидродинамическое), дифференциальные модели | Бинарная кластеризация потенциальных скважин-кандидатов |

Дендрограмма, показывающая иерархическое слияние скважин в кластеры, где, чем выше происходит слияние, тем более различными являются группы.



Пример  
кластеризации  
фонда скважин  
методом Варда по  
углеводородному  
составу добываемой  
нефти



**Сущность:** сегментация фонда скважин по стадиям истощения залежей и характеру выработки запасов.

## Оптимальные способы кластеризации:

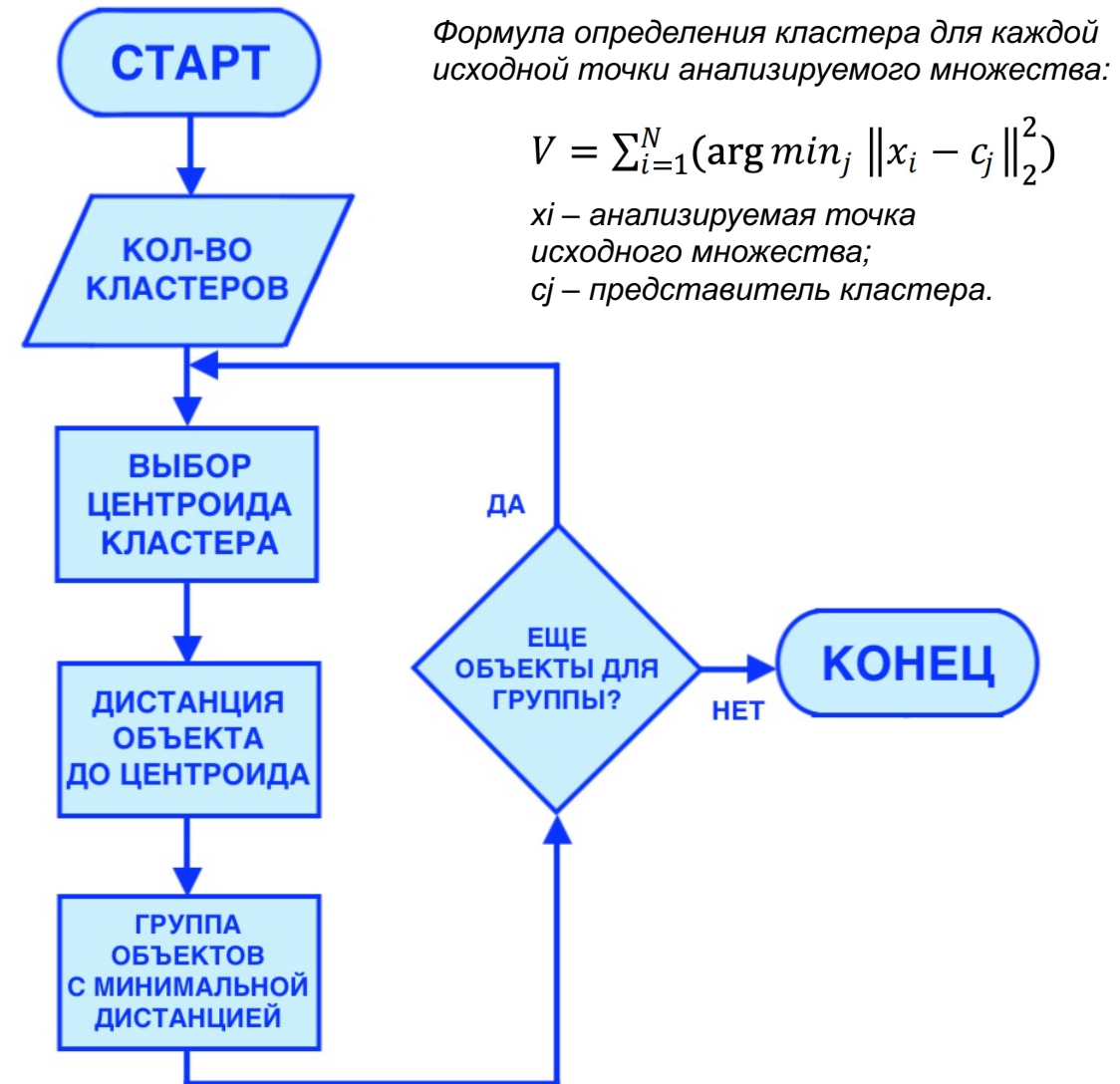
- Метод K-means со следующим перечнем входящих параметров: наклон кривой падения дебита за последний год; текущая степень обводненности; накопленная добыча нефти; текущий коэффициент продуктивности.

## Предполагаемый результат:

Автоматизация и оптимизация прогнозирования поведения скважин и планирования мероприятий по увеличению нефтеотдачи.

## Визуализация:

Точечная диаграмма, где по осям отложены текущий дебит и накопленная добыча. Цвет маркеров на диаграмме будет обозначать принадлежность к конкретному кластеру.



Принципиальная схема алгоритма кластеризации K-means

**Сущность:** выявление групп добывающих скважин по реакции на работу нагнетательных скважин.

**Оптимальные способы кластеризации:**

- Capacitance Resistance Model (CRM) на основе расчетных параметров влияния.

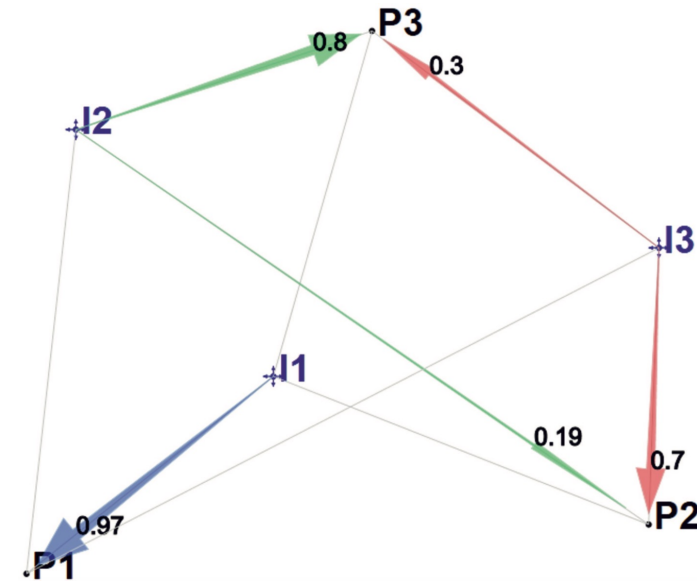
**Предполагаемый результат:**

Выделение технологических ячеек и зон влияния нагнетательных скважин, что является основой для точечного регулирования и оптимизации системы ППД.

**Визуализация:**

Карта-схема месторождения, на которой добывающие и нагнетательные скважины соединены линиями, толщина и цвет которых отражают рассчитанную долю влияния или силу гидродинамической связи.

Пример карты взаимовлияния на основе модели CRM



CRM берет в свою основу уравнение материального баланса и уравнение Дюпюи:

$$q_j(t_n) = q_j(t_0)e^{-\frac{(t_n-t_0)}{\tau_j}} + \sum_{k=1}^n \left( e_j + \sum_{i=1}^{NI} f_{ij} I_{i,k} - J_j \tau_j \frac{\Delta p_{j,k}}{\Delta t_k} \right) e^{-\frac{(t_n-t_k)}{\tau_j}} \left( 1 - e^{-\frac{(t_k-t_{k-1})}{\tau_j}} \right),$$
$$j = \overline{1, NP}$$

$j$  – номер скважины;  
 $tn$  –  $n$  шаг интервала;  
 $\tau_j$  – коэффициент падения добычи;  
 $J_j$  – коэффициент продуктивности;  
 $e_j$  – интенсивность аквифера;  
 $f_{ij}$  – коэффициенты взаимного влияния между  $j$  добывающей и  $i$  нагнетательной скважиной.



**Сущность:** создание системы предиктивного подбора мероприятий на основе схожести скважин с успешными кейсами.

## Оптимальные способы кластеризации:

- Бинарная кластеризация, которая проводится по нормализованной матрице параметров скважин, в которой строки — скважины, столбцы — параметры.

## Предполагаемый результат:

Автоматизированное выявление групп скважин-кандидатов с обоснованием по ключевым параметрам.

## Визуализация:

На тепловой карте визуально выделяются однородные блоки (бикластеры), наглядно демонстрируя какие группы параметров определяют поведение каких групп скважин.



*Перечень входных данных для построения бинарной кластеризации на примере ГРП*

Таким образом, по результатам внедрения предложенных решений могут быть решены следующие отраслевые задачи:

- 1. Автоматизация анализа неоднородных коллекторов:** алгоритмы кластеризации позволяют автоматически группировать участки месторождения / скважины, выявляя скрытые закономерности в геологических / технологических параметрах, что позволяет принимать более обоснованных решения в контексте роста осложнения процессов добычи нефти.
- 2. Повышение точности цифровых моделей:** кластеризация может быть использована для построения более точных цифровых двойников месторождений.
- 3. Ускорение и оптимизация принятия решений:** интеллектуальные системы на основе МО, включающие модули кластеризации, позволяют в автоматизированном режиме выбирать и предлагать оптимальные проектные решения, то есть позволит перейти от реактивного управления (реагирования на проблемы) к проактивному и предиктивному, что является ключом к рентабельной разработке ТРИЗ.