



# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ ЗА СЧЕТ ТЕХНОЛОГИИ УМНЫХ МИКРОКОНТЕЙНЕРОВ (УМК)

---

Докладчик: Старший аналитик МЭАЦ  
Папушкина Анастасия Алексеевна

Участники: Академик РАН, д.ф.-м.н.  
Сигов А.С. (МИРЭА); Член-корр. РАН,  
д.х.н. Максимов А.Л. (ИНХС РАН); к.х.н.  
Антонов С.В. (ИНХС РАН); к.т.н. Аверина  
Ю.М. (РХТУ); Замрий А.В. (МЭАЦ),  
Алиева Л.А. (МЭАЦ); Папушкина А.А.  
(МЭАЦ); Безруков Н.П. (ИНХС РАН)

# 01 Актуальность

Вырабатываются высокопродуктивные объекты, растет доля трудноизвлекаемых запасов (ТриЗ).

Для освоения ТриЗ наблюдается недостаток технологий, которые сделают добычу рентабельной.

Преимущественно для извлечения ТриЗ применяются методы увеличения нефтеотдачи.

Доля ТриЗ  
в России  
на 2023:

60%

К 2030 она  
может  
составить:

70%

# 02

## Химические МУН

На 25-35 %

увеличение КИН

8 %

доля ХМУН

### ПАВ-защелачивание

Снижение межфазного натяжения на границе нефть-вода с последующим эмульгированием нефти.

### Щелочное защелачивание

Щелочь, реагируя с нефтяными кислотами, образует соли, являющиеся поверхностно-активными веществами.

### Полимерное защелачивание

Выравнивание фронта вытеснения путем увеличения вязкости воды и блокирования высокопроницаемых участков.

### Комбинированные (SP-, ASP- защелачивание)

Представляет собой комбинацию ПАВ-, полимерного и щелочного защелачивания.

# 03

## Анализ ХМУН

МЕТОД	ДОСТОИНСТВА	НЕДОСТАТКИ	ЗОНА ПРИМЕНЕНИЯ
ПАВ-заводнение	Значительное повышение коэффициента вытеснения	Адсорбция ПАВ на поверхности породы; Большие объемы закачки; Высокая стоимость реагентов	Призабойная зона нагнетательных скважин на залежах с высокой проницаемостью
Полимерное заводнение	Снижение обводненности продукции, вовлечения в добычу пропластков с меньшей проницаемостью	Термическая деструкция полимеров; Риск преждевременного гелеобразования	Закачка в нагнетательные скважины с последующим воздействием на пласты с высокой степенью неоднородности
Щелочное заводнение	Низкая стоимость реагента	Риск выпадения осадков в карбонатных породах и снижения проницаемости	Закачка в нагнетательные скважины. Основное условие – высокое содержание кислот в нефти
ASP-заводнение	Существенное повышение нефтеизвлечения, эффект синергии трех видов ХМУН	Высокая стоимость реагентов; Риск деструкции полимера в присутствии щелочи	Закачка в нагнетательные скважины

# 04

## Предлагаемое решение

Для увеличения эффективности современных ХМУН, а также для борьбы с их **недостатками**, **МЭАЦ СНГПР** предлагает технологию умных микроконтейнеров (УМК). Суть технологии заключается в капсулировании активных веществ внутри полимерных контейнеров размером от 50 нм до нескольких микрометров с управляемыми характеристиками.

# 1

### Подготовка

Капсула УМК заполняется реагентом (ПАВ или полимер, в зависимости от выбранного метода).

# 2

### Адресная доставка

Далее, УМК при заводнении доставляются в пласт, после чего капсулы перемещаются внутри коллектора под действием магнитного поля.

# 3

### Раскрытие и действие

Применение УМК при полимерном заводнении приведет к более точному воздействию на пласт, предотвратит преждевременное гелеобразование.

# 05 УМК-МУН



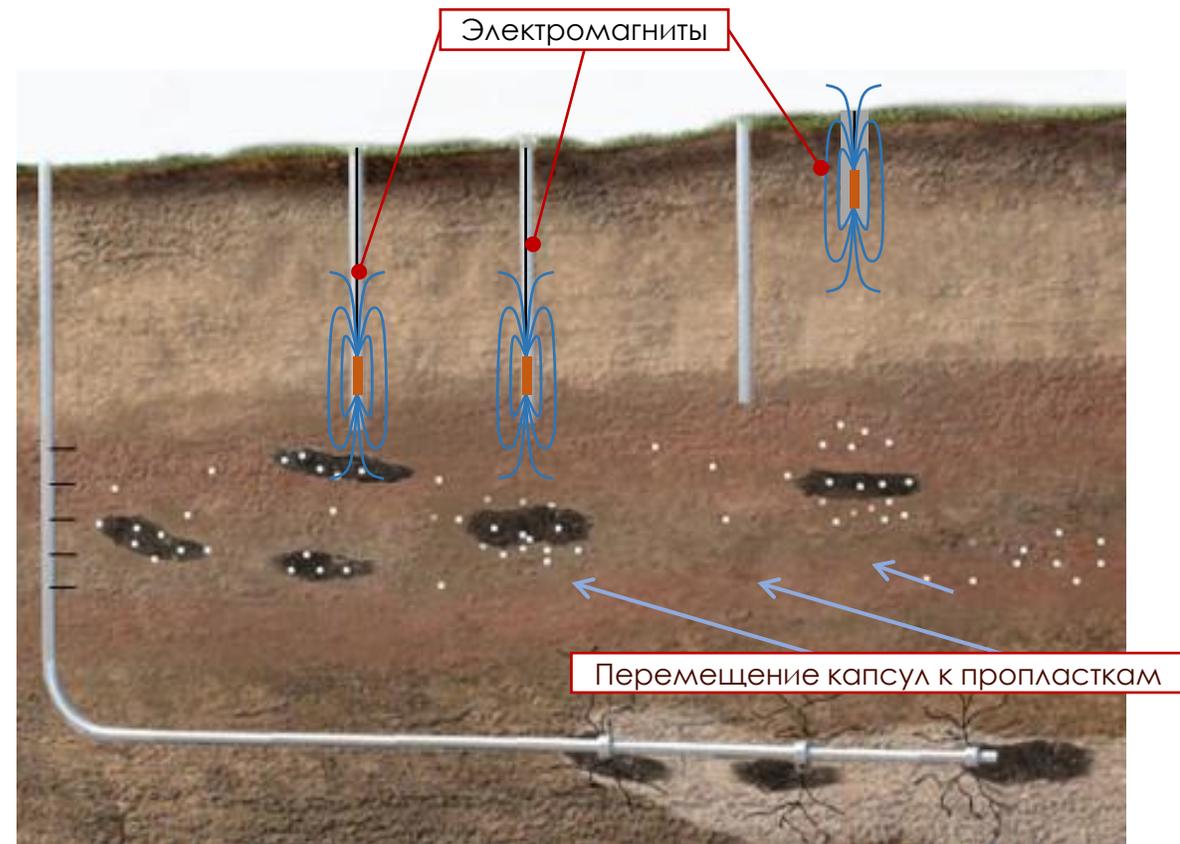
## Проблема

большой расход реагентов,  
сложность воздействия на  
изолированные участки

## Преимущества предлагаемой технологии

Адресность доставки  
реагентов

Снижение расхода  
реагентов



\*Для спуска магнитов могут быть использованы  
заглушенные скважины или шурфы

## Новая технология позволяет снизить себестоимость добычи при ПАВ-заводнении

Вид технологии / Показатель	Традиционная технология	УМК-МУН	Разница
Стоимость полимера, руб/кг	300	785	-485
Требуемое количество полимера, т	382,0	114,6	267,7
Суммарные затраты на полимер, млн. руб	114,6	89,9	24,7
Период нагнетания, мес	16,4	4,9	11,5
Аренда оборудования, млн. руб/мес	4,0	4,2	-0,2
Суммарные затраты на оборудование, млн. руб	65,6	20,9	44,7
Суммарный дополнительный доход для одного месторождения, млн. руб			69,4

По некоторым исследованиям, капсулирование ПАВ снижает уровень адсорбции вещества более чем на **70%**. Следовательно, применение технологии **УМК-МУН** позволит добиться столь же высоких результатов в добыче, но с меньшими потерями реагента и денег.

Дополнительные расходы при внедрении УМК - МУН

Повышение эффективности заводнения за счет внедрения УМК-МУН

~51,2 млн. руб.

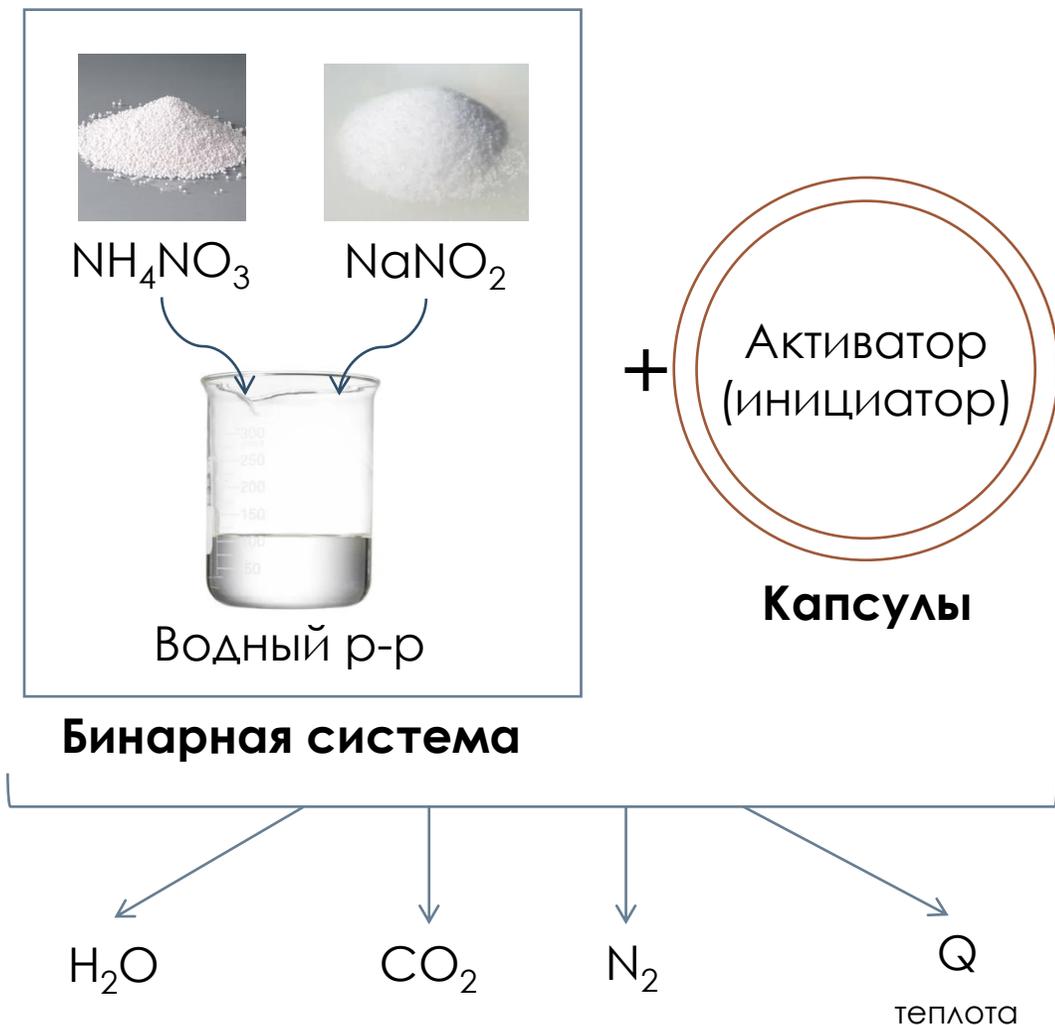
Экономический эффект от технологии УМК-МУН для одной скважины в год

5,1 млрд. руб.

\*на 100 скважин только от сокращения расходов

# 07

## Термогазохимическое воздействие



Проблема ←

развитие **взрывного процесса**,  
**повреждение** НКТ, **срыв** пакера,  
**растрескивание** цементного камня

**Преимущества предлагаемой  
технологии**

Упрощение процесса

Сохранение  
безопасности

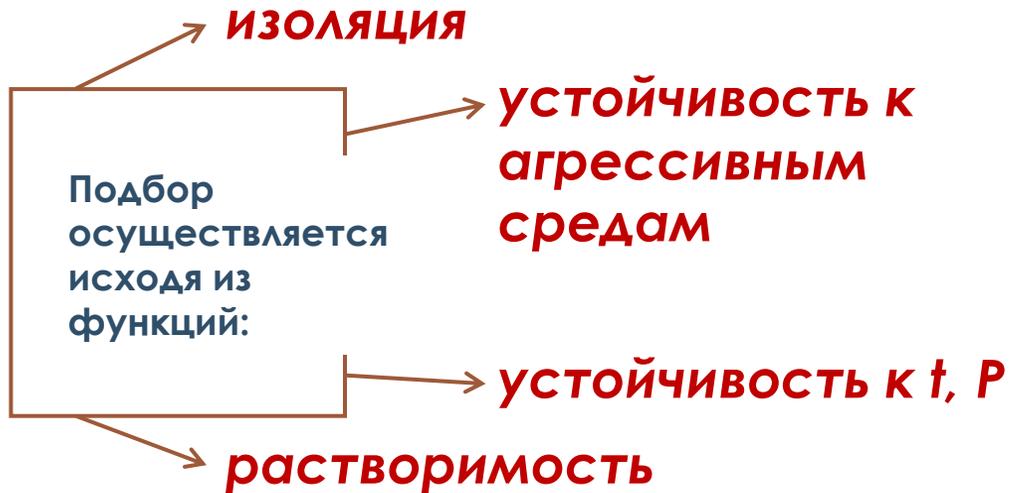
# 08

## Направления разработки УМК

### Подбор материалов

Для выбора материала определялись следующие свойства:

- Липкость;
- Механические показатели (при разрыве);
- Адгезионные показатели;
- Устойчивость в нефти, к веществам эксплуатационной среды.



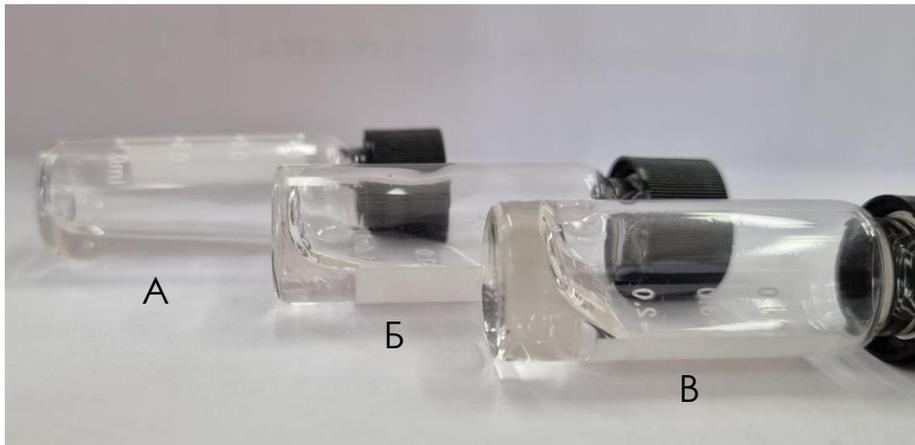
Полимер/ сополимер	Липкость	Устойчивость в нефти	Устойчивость к веществам эксплуатационной среды						Испытания по определению механических показателей (при разрыве)		
			Толуол	Метанол	10% HCl	P-р NaCl, CaCl	Упар. минер. вода	Прочность, МПа	Модуль, МПа	Отн. удл., %	
<b>Материал ядра</b>											
П (75% БА + 25% ММА)	+	Н	Р	Н	Н	Н	Н	0.3±0.0	4.5±0.7	1256.76±709.04	
П (75% ММА+25%БА) + ПЭТА	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	4.1±1.5	64.3±26.3	71.21±73.72	
П (50%Ст + 50%ММА) + ПЭТА	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	25±1.4	352±0.64	31±0.1	
П (75%Ст + 25%ММА) + ПЭТА	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	36±2.1	539±0.6	37±2.6	
<b>Материал оболочки</b>											
ПСФ	-	Р	Р	Н	Н	Н	Н	44.6±5.7	903±233	7.93±5.30	
ПА-12	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	32.0±2.5	205.2±17.6	198.95±75.09	

БА – бутилакрилат; ММА – метилметакрилат; Ст – стирол; ПЭТА – пентаэритрит тетраакрилат; ПСФ – полисульфон; ПА – полиамид.

## Подбор материалов

### СВЧ

Были исследованы процессы при частотах: 2,45 ГГц, 24 ГГц, 245 ГГц и варьировании мощностей от 100-1000 Вт.

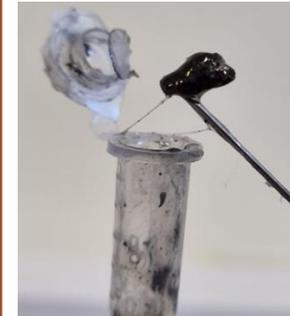
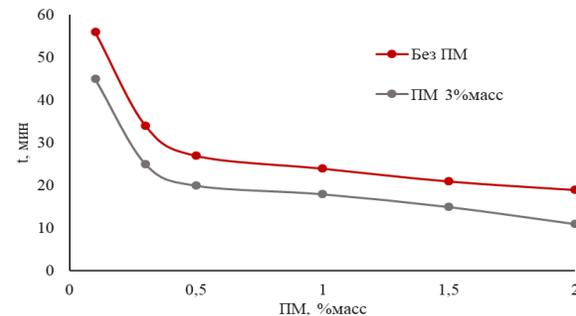
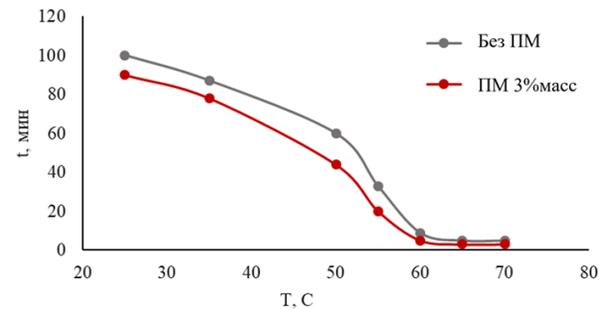


Пробы после обработки СВЧ на рабочем составе:  
а – спустя 100 с; б, в – спустя 200, 500 с



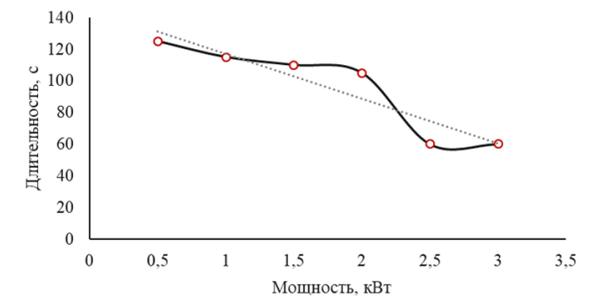
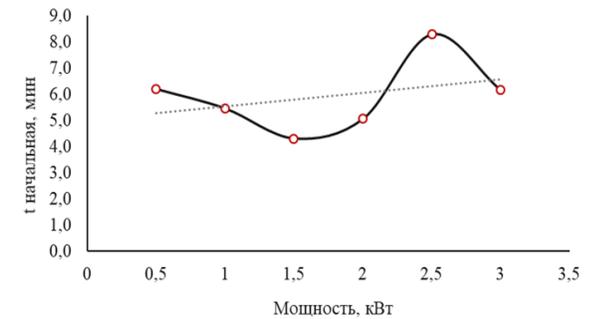
### УЗИ

Графики зависимости влияния концентрации инициатора на время гелеобразования рабочих составов.



### Магнитная ИНДУКЦИЯ

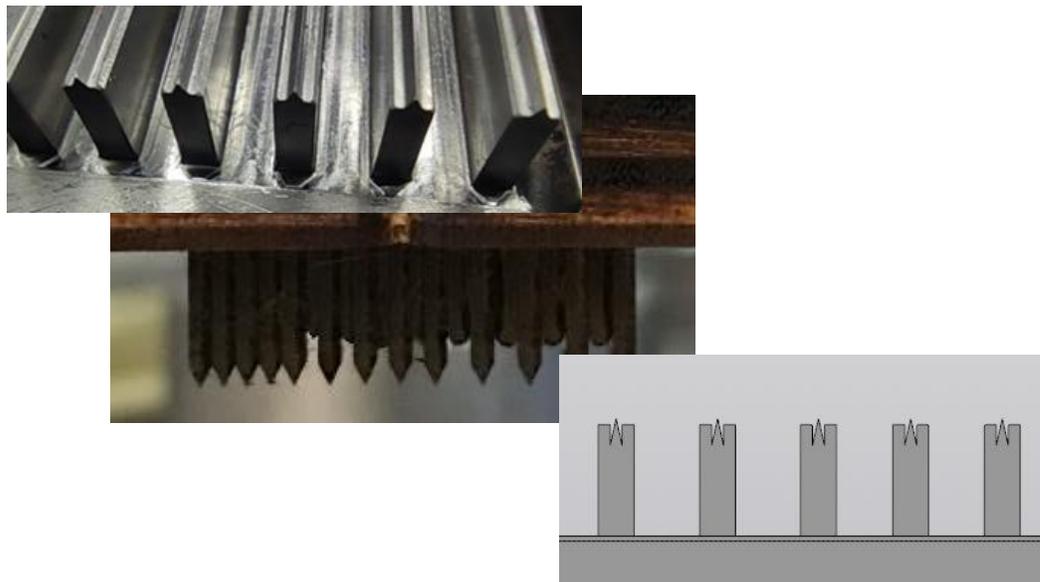
Графики зависимости  $t_n$  (и  $\Delta t(B)$ ) от изменения мощности.



# Направления разработки УМК

## Создание контейнеров

Капиллярная технология



Пленочная технология



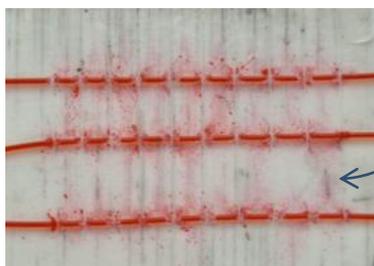
Микрофлюидика

Распылительная технология

## Направления разработки УМК

### Создание контейнеров

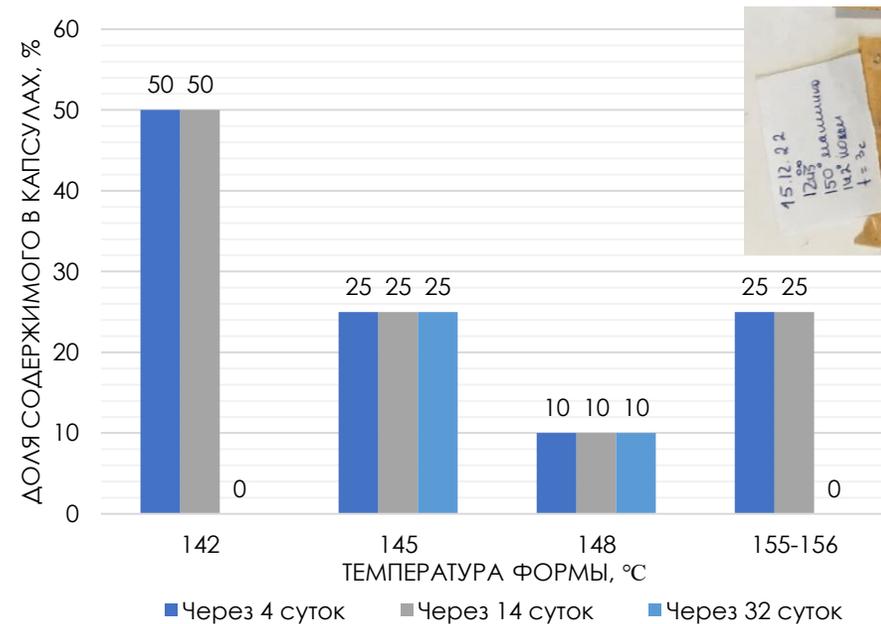
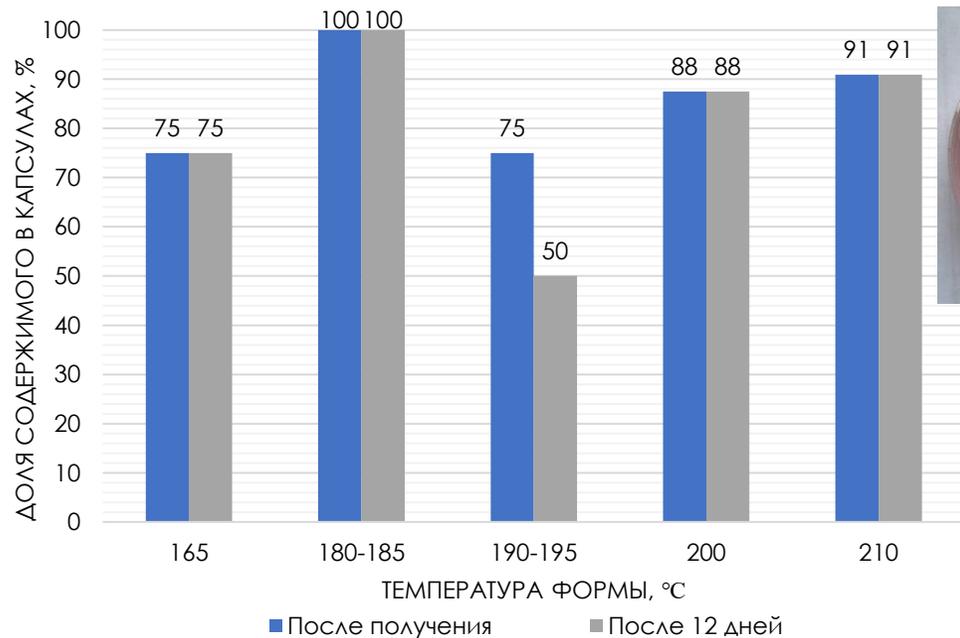
Результаты работы получения капсул, заполненных окрашенной эозином водой



Материал	T, °C	t, с	Спайка	%с-н, %
Капиллярная технология				
Полиэтилен	180-185	2	+	100,00
Пленочная технология				
Полиэтилен	142	3	+	50,00



Оценка динамики высвобождения окрашенного раствора

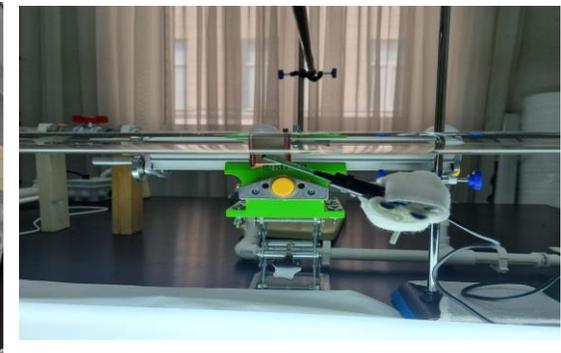


# 12

## Направления разработки УМК

### Управление движением

ЧАСТЬ 1  
Имитация  
заколонных  
перетоков



ЧАСТЬ 2  
Демонстрация  
управления  
течением

ЧАСТЬ 3  
Демонстрация  
управления потоком  
в прямой трубе



Замедленная съемка для обработки



Движение частиц на стенде

# 13

# Направления разработки УМК

## Управление движением

Обработка видео в программе для подсчета частиц

Счетчик капсул

Выбрать файлы

Информация о работе

Видео входа в систему (после окончания обработки любого видео нельзя изменить)

Файл не выбран

Алгоритм вычитания фона: MOG

Прогресс

1. Граница (% от 10 до 100): 70.0

2. Время отслеживания (количество кадров от 2 до 50): 10

3. Зона обнаружения (размер от 30 до 200): 150

4. Количество пропускаемых кадров (от 0 до 2000): 0

5. Размер ядра открытия/закрытия (размер от 2 до 15): 10

6. Коэффициент расстояния (от 0 до 0.7): 0.2

7. Высота видео (в пикселях от 224 до 1024):

8. Ширина видео (в пикселях от 224 до 1280):

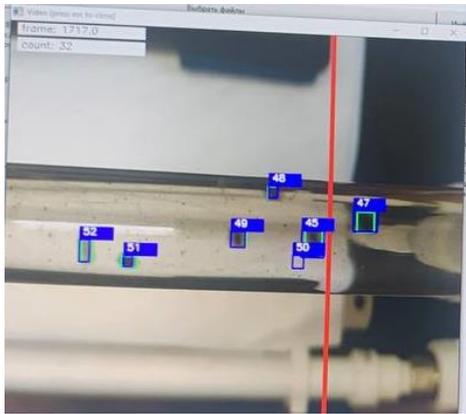
9. Задержка между кадрами (мс от 1 до 500): 20

10. Физическая длина области кадра (см): 15.0

11. Частота кадров: 240

Отображать процесс обработки  Обрезать видео

Обработка видео    Сохранить результаты

Результаты 50 кПа, 45 с, без магнита, 13.06.2024 [Режим]

Форма с результатами

Буфер обмена    Шрифт    Выравнивание    Число    Стили

Общий    Условное форматирование    Ячейки    Редактирование    Настройки

Форматировать как таблицу    Стили ячеек

E22

id	путь	
1	Z:/_2-ПРОЕКТЫ/УМК - РИР/НАПРАВЛЕНИЯ/СТЕНД/Результаты/Видео/13.06.2024/Экспвход 50 кПа, 45 с, без магнита, 13.06.2024.mp4	
2	Z:/_2-ПРОЕКТЫ/УМК - РИР/НАПРАВЛЕНИЯ/СТЕНД/Результаты/Видео/13.06.2024/Экспвход 50 кПа, 45 с, без магнита, 13.06.2024.mp4	
Информация об обработанных файлах		
id	Количество	Средняя скорость частиц (см/с)
1	710	101,59
2	709	104,43
Итого	1	

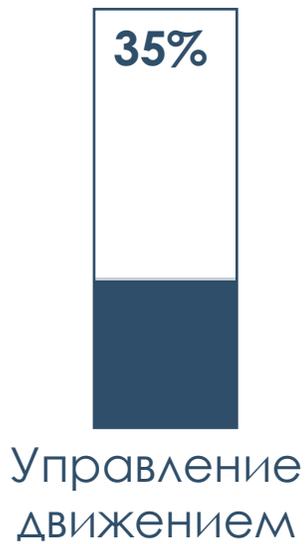
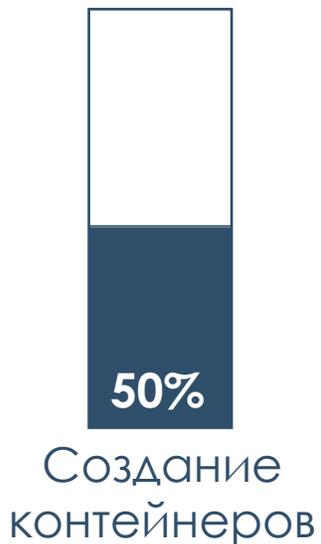
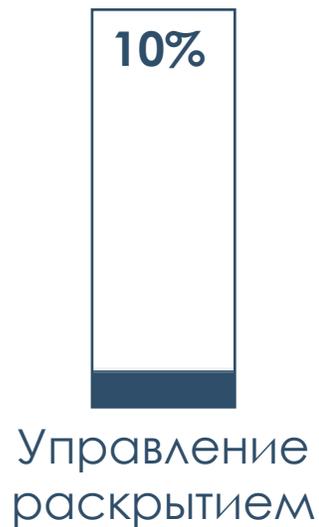
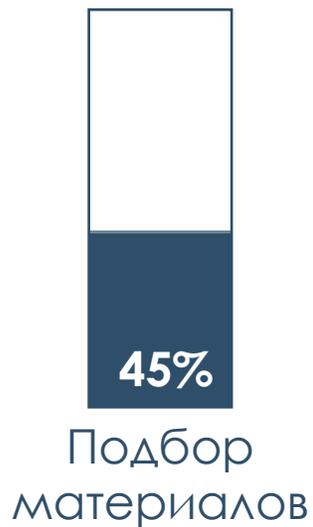
Результаты

Итоговая форма

I . Гранулы, 20%ФМ	Количество частиц, штук					
	Давление, кПа					
Значение магнитной индукции, мТл	30	35	40	45	50	55
108	162	154	143	140	131	121
	165	149	144	138	142	110
	158	152	144	137	133	137
90	147	146	136	127	125	118
	149	144	135	130	121	114
	143	140	137	132	123	117

# 14

## Итоги разработки



# 15

## Партнеры



ИНСТИТУТ  
ТЕПЛОФИЗИКИ им.  
С.С. Кутателадзе  
СО РАН



ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА  
им. Г.К. БОРЕСКОВА



# 16

## ВЫВОДЫ

Создание принципиально новых технологий в области методов увеличения нефтеотдачи направлено на **увеличение эффективности** и **снижения суммарных затрат** на проводимые работы.

Применение технологий позволит достичь следующих эффектов:

1.

Адресная доставка активных веществ

3.

Снижение затрат материалов и реагентов

2.

Сокращение времени на проведение работ

4.

Более высокая надежность по сравнению с традиционными технологиями



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

