



ООО Многопрофильная Компания

«ХИМСЕРВИСИНЖИНИРИНГ»



VI Всероссийская научно-практическая конференция  
«ДОБЫЧА, ПОДГОТОВКА, ТРАНСПОРТ НЕФТИ И ГАЗА»

# Химические методы управления процессами извлечения трудноизвлекаемых запасов УВС

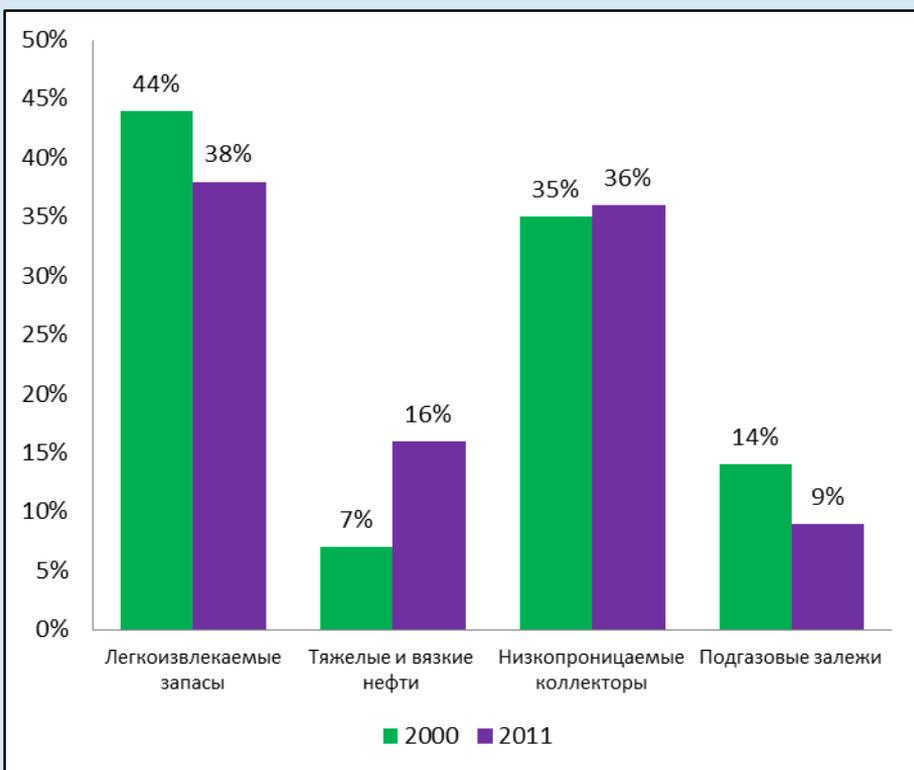
**Д.Х.Н., профессор Фахретдинов Р.Н.**  
**к.т.н. Якименко Г.Х.**  
**г. Томск, 2013 г.**

Адрес: 117420, Россия, город Москва, улица Наметкина, дом 14, корпус 2, офис 601  
тел.: +7 (495) 718-58-12, тел./факс: +7 (495) 332-00-85  
e-mail: [info@cse-inc.ru](mailto:info@cse-inc.ru) • [www.cse-inc.ru](http://www.cse-inc.ru)

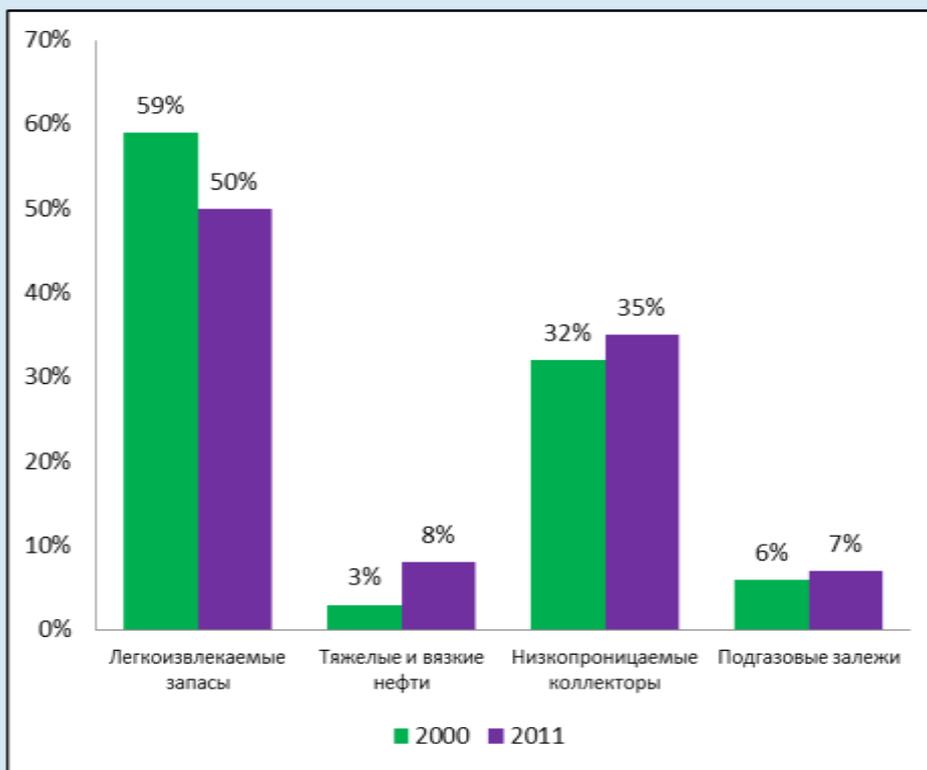


## Изменение структуры добычи нефти в России в 2000-2011гг.

### Изменение структуры извлекаемых запасов нефти в России



### Изменение структуры добычи нефти в России



Источник: аналитический журнал «НефтеСервис», №4 (20), 2012 г.



## *Основные проблемы*

### **Трудноизвлекаемые запасы**

**Проблема: Низкая рентабельность вовлечения в разработку. Поиск новых технологий и подходов для повышения продуктивности скважин и коэффициента извлечения нефти.**

### **Управление базовой добычей**

#### **на поздней стадии разработки месторождений**

**Проблема: Снижение эффективности разработки. Поиск технологий ГТМ для выработанных и краевых участков залежей.**

**Управление заводнением.**

**Новые технологии МУН, ИДН и ОПЗ.**

### **Снижение операционных затрат**

**Проблема: Рост ОПЕХ.**

**Проекты по ограничению водопритока.**



## *Основные решения проблем*

<b>Проблемы</b>	<b>Решение</b>
<b>Низкий начальный коэффициент продуктивности пласта, низкие начальные дебиты добывающих скважин</b>	<b>- Физические технологии (ГРП и т.д.) - Кислотные обработки</b>
<b>Снижение продуктивности скважины в процессе эксплуатации</b>	<b>- Технологии интенсификации добычи нефти</b>
<b>Опережающее (резкое) обводнение, увеличение темпов обводнения</b>	<b>- Технологии ПНП, ИДН, ОПЗ</b>
<b>Низкая эффективность традиционных систем заводнения</b>	
<b>Неравномерная степень выработки запасов УВС</b>	



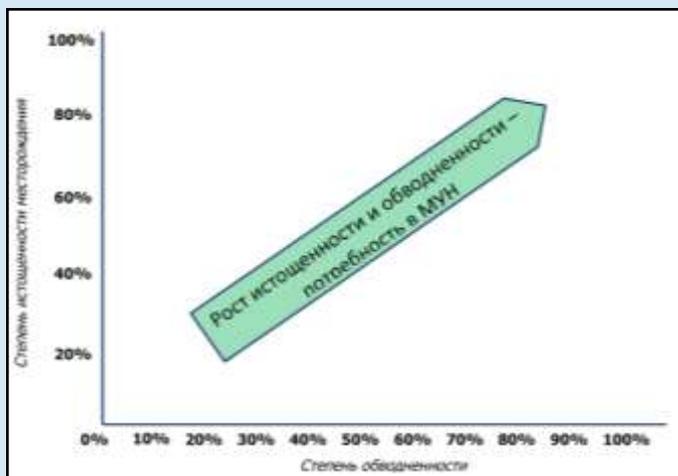
## *Методология решения проблем*

- Первичные и вторичные методы добычи имеют КИН в пределах 30-35 %;
- Третичные методы добычи основываются на снижении поверхностного натяжения или вязкости, что способствует вытеснению нефти из пласта. Это достигается путем закачки в пласт химических веществ. МУН могут способствовать извлечению дополнительно 5-20% геологических запасов нефти;
- Выбор оптимальной технологии повышения нефтеотдачи требует глубокого понимания характеристик коллектора и экономических параметров освоения месторождения;
- По самым грубым подсчетам при традиционных методах добычи по всему миру в недрах остается порядка двух третей нефти. Повышение КИН в глобальном масштабе всего на 1 % позволит увеличить традиционные запасы нефти до 88 млрд. баррелей, что в три раза больше, чем добывается за год;
- Разработка новых технологий с учетом мирового опыта и последних достижений науки и техники;
- Налаживание партнерских отношений в сфере технологий с производственными компаниями и академическими кругами.



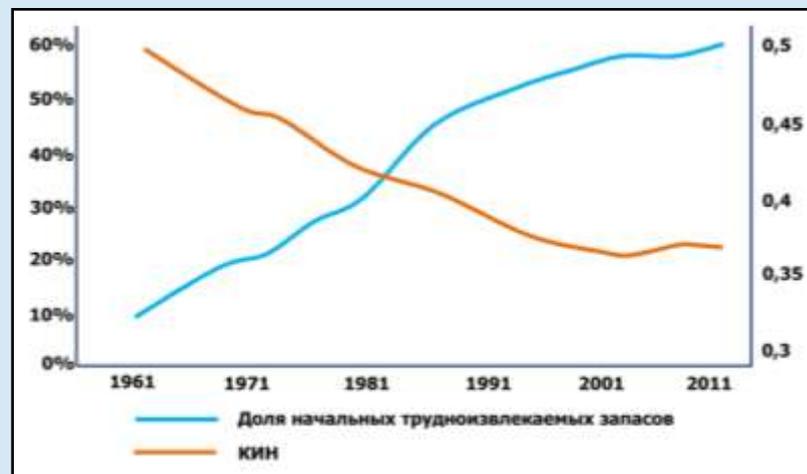
## Актуальность применения МУН

### Факторы, определяющие потребность в МУН



Источник: оценка Московского нефтегазового центра «Эрнст энд Янг».

### Динамика трудноизвлекаемых запасов месторождений в России



Источник: <https://www.burneft.ru/archive/issues/2011-02/8>

### Критерии, определяющие метод повышения нефтеотдачи

Метод	Плотность нефти, кг/м <sup>3</sup>	Оставшиеся извлекаемые запасы, % от начальных запасов	Тип породы	Глубина, м	Проницаемость, мД	Температура, °С	Ожидаемый дополнительный КИН, %
Закачка азота	>850	>40	Карбон	>2000	190	-	нет данных
Закачка углеводорода	>904	>30	Карбон	>1350	-	-	20...40
Закачка CO <sub>2</sub>	>904	>20	Карбон	>700	-	-	5...25
Закачка полимеров	>966	>70	Песок	<3000	>10	<95	5...30
Закачка ПАВ	>946	>35	Песок	<3000	>10	<95	5...30
Термальный/горение при интенсивном окислении	>1000	>50	Песок	>50	>50	<40	нет данных
Термальный/закачка пара	>1014	>40	Песок	<1500	>200	-	10...60

Источник: Международное энергетическое агентство.



## *Российские проекты по испытанию МУН*

Компания-разработчик	Месторождение	Нефтегазоносная провинция	Испытание МУН
ОАО "ЛУКОЙЛ"	Ярегское	Тимано-Печорская	Тепловые (2 модификации)
ОАО "ЛУКОЙЛ"	Усинское (пермокарбон)	Тимано-Печорская	Комбинированные (тепловые и химические)
ОАО "ЛУКОЙЛ"	Тевлинско-Русскинское	Западно-Сибирская	МГРП
ОАО "ЛУКОЙЛ" - ОАО "РИТЭК"	Средне-Назымское, Гальяновское	Западно-Сибирская	Термогидровоздействие
ОАО "ТНК-ВР"	Талинское	Западно-Сибирская	Газовые
ТНК-ВР	Кошильское, Северо-Хохряковское	Западно-Сибирская	МГРП
ОАО "Сургутнефтегаз"	Ай-Пимское	Западно-Сибирская	Термогидровоздействие



## *Российские проекты по испытанию МУН*

Компания-разработчик	Месторождение	Нефтегазоносная провинция	Испытание МУН
ОАО "Газпромнефть"	Муравленковское	Западно-Сибирская	Интегрированный
ОАО "Газпромнефть" и ОАО "НК "Роснефть"	Приобское	Западно-Сибирская	Газовые, термогазовые
"Салым Петролеум Девелопмент Н.В." (ОАО "Газпромнефть" и Royal Dutch Shell")	Западно-Салымское, Верхне-Салымское и Ваделыпское	Западно-Сибирская	Химические
ОАО "Татнефть"	Ромашкинское	Волго-Уральская	Химические, газовые
ОАО "Татнефть"	Альшальчинское	Волго-Уральская	Тепловые (паровые и термогазовые)
ОАО "Зарубежнефть"	Висовые	Тимано-Печорская	Термогазовые



## *Инновационный портфель*

### **Ключевые направления:**

- **Высокообводненные месторождения;**
- **Низкопроницаемые и маломощные пласты;**
- **Высоковязкая нефть.**

### **Решения:**

- **Увеличение КИН за счет ПАВ и полимерного заводнения на выработанных запасах;**
- **Улучшение нефтеснижающих свойств воды в результате площадного воздействия полифункциональными реагентами;**
- **Выбор оптимальной технологии повышения нефтеотдачи пластов.**



## Увеличение КИН на выработанных запасах

*Химические методы увеличения нефтеотдачи для месторождений с выработанными запасами*

### Преимущества:

- Щелочь снижает оседание ПАВ на породе;
- ПАВ уменьшает остаточную нефтенасыщенность;
- Полимеры увеличивают коэффициент охвата и коэффициент нефтевытеснения.

### Основные сложности при внедрении:

- Подбор реагентов для конкретных геологических условий;
- Массовое производство реагентов с заданными технико-экономическими параметрами (контролируемого качества).

### Расчёт потенциального прироста КИН

Традиционное заводнение

Регулирование метода заводнения

Начальная нефтенасыщенность  
65%

65%

Остаточная нефтенасыщенность  
30%

15%

### Коэффициент охвата:

0,7

0,7

### Максимально возможное значение КИН:

$$\frac{65\% - 30\%}{65\%} * 0,7 = 0,38$$

$$\frac{65\% - 15\%}{65\%} * 0,7 = 0,54$$



## *Улучшение процесса заводнения*

### **Способы регулирования фронта продвижения закачиваемой воды:**

- разрезание залежи посредством освоения скважин под закачку в нагнетательном ряду через одну;
- промежуточные скважины эксплуатируются на нефть и переводятся под нагнетание воды только после их обводнения;
- разобшение объекта разработки бурением новых сеток скважин на малопродуктивные пласты и интенсификация их разработки;
- проведение изоляционных работ в нагнетательных и добывающих скважинах с целью исключения из эксплуатации наиболее обводнившихся пропластков;
- бурение уплотняющих скважин в недренируемых застойных зонах и в районе стягивающего добывающего ряда;
- изменение режима работы нагнетательных и нефтяных скважин;
- добавка в закачиваемую воду различных загустителей с целью улучшения соотношений подвижностей и т.д.



## *Химические МУН в аспекте нанотехнологий*

**Эффективность нефтевытеснения определяется наноразмерами: поверхность пор имеет нанометровую шероховатость, а смачивающие свойства пород определяются как раз шероховатостью.**

**Регулирование свойств нефтегазовых пластов на уровне взаимодействий, смачивания, изменения структуры минералов (размеры которых 20-40 нанометров), решаются с применением технологий управления наноявлениями (нанотехнологий).**

**К нанотехнологическим мероприятиям увеличения нефтеотдачи (НТМУН) относятся мероприятия (способы, методы), механизм которых определяется наноразмерными явлениями или при которых применяются наноразмерные частички. Группа технологий на основе применения химических и газовых агентов, имеющих наноразмерный механизм воздействия на пластовые системы, также относятся к НТМУН.**



### *Полимерное заводнение*

**Зарубежная и отечественная практика показала эффективность метода воздействия на пласт полимерными растворами на ранних и средних стадиях разработки нефтяных месторождений.**

**Современные осложненные геолого-физические условия месторождений отрасли требуют разработки способов, снимающих ряд ограничений на эффективное использование полимерных растворов, обеспечивающих высокие реологические свойства и фильтрационные сопротивления в водопромытых зонах пласта и эффективность в повышении коэффициента вытеснения нефти.**



## *Модификации полимерных технологий*

Разработаны и успешно применяются следующие основные технологии увеличения нефтеотдачи пластов с использованием полимеров:

- *закачка индивидуальных растворов полимера (полимерное заводнение);*
- *воздействие на пласт с использованием «сшитых» полимеров;*
- *полимерное заводнение в сочетании с вязкоупругими составами (ВУС);*
- *воздействие на призабойную зону пласта ВУС;*
- *полимерное заводнение в сочетании с другими физико-химическими и гидродинамическими методами.*



## Полимерное заводнение

### Эффективность применения полимерного заводнения на месторождениях отрасли

Месторождение	Пласт	Год начала реализации	Число скважин под воздействием		Удельная эффект., т/т
			нагнетательных	добывающих	
Орлянокое	А3А4	1969	9	35	1551
Сосновское	А3А4	1978	15	31	191
Дерюжевское	А2А3	1987	3	15	721
Дерюжевское	Б2В1	1983	13	36	4950
Радаевское	Б2	1991	6	36	1031
Козловское	А4	1985	6	23	10 000
Кулешовское	А0А1А2	1983	5	29	11571
Ромашкинское	бобр. горизонт	1981	нет данных		493
Арланское	бобр. горизонт	1981	8	46	125



*Развитие полимерного заводнения: прошлое, настоящее, будущее*

- **Достигнуты значительные улучшения за последние 50 лет;**
- **Разнообразные области применения технологии полимерного заводнения.**

Параметр	Вчера	Сегодня и Завтра
Вязкость нефти	<200 мПа*с	>10 000 мПа*с
Температура	<95°С	>120°С
Проницаемость	>20 мД	>10 мД
Минерализация	Низкая	>200г/л



## *Широкий спектр химических соединений*

Предлагается полный спектр полимеров, рассчитанных на различные характеристики заводнения:

- Анионный полиакриламид (до 75-80°C при низкой минерализации);
- Сульфированный со и тер-полимер (до 100 °C);
- Со и тер-полимер на основе NVP (до 120°C с низкой проницаемостью);
- Ассоциированный полимер (для более высоких значений вязкости и допуску по минерализации, до 75 °C);
- Серия Flocomb (полимеры со стойкостью к минерализации);
- F3P – Блок полимеров с защитой (до 120°C с O<sub>2</sub>, железом и H<sub>2</sub>S).



## *Характеристика различных марок полимерных агентов*

<b>№</b>	<b>Марка ПАА</b>	<b>Содержание основного вещества, %</b>	<b>Степень гидролиза, %</b>	<b>Характеристи- ческая вязкость, дл/г</b>	<b>Молек. масса, млн.</b>
<b>1</b>	<b>NP-123</b>	<b>90,6</b>	<b>2,1</b>	<b>15,2</b>	<b>8,6</b>
<b>2</b>	<b>NP-234</b>	<b>90,3</b>	<b>2,5</b>	<b>16,0</b>	<b>9,5</b>
<b>3</b>	<b>FA 920</b>	<b>91,0</b>	<b>1,0</b>	<b>11,4</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>FA 920 SH</b>	<b>90,7</b>	<b>1,3</b>	<b>12,7</b>	<b>6,1</b>
<b>5</b>	<b>FA 920 VHM</b>	<b>91,2</b>	<b>1,0</b>	<b>17,3</b>	<b>11,2</b>
<b>6</b>	<b>FA 910 VHM</b>	<b>91,8</b>	<b>8,0</b>	<b>20,9</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>FA 912 VHM</b>	<b>90,4</b>	<b>2,1</b>	<b>16,9</b>	<b>10,5</b>
<b>8</b>	<b>SANFLOC AM-200P</b>	<b>91,9</b>	<b>13,9</b>	<b>19,6</b>	<b>12,4</b>
<b>9</b>	<b>POLEOR ATC №800</b>	<b>90,5</b>	<b>1,3</b>	<b>15,7</b>	<b>9,3</b>
<b>10</b>	<b>POLEOR-Z 3020</b>	<b>90,8</b>	<b>22,1</b>	<b>21,7</b>	<b>14</b>
<b>11</b>	<b>POLEOR ATC A-1800</b>	<b>91,2</b>	<b>19,5</b>	<b>18,6</b>	<b>10,6</b>



## ***Технология полимерного воздействия на пласт***

ПАА, используемые для увеличения нефтеотдачи пластов, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Товарная форма	порошок
2. Дисперсность порошка, %	
фракции с размером частиц менее 0,25 мм, не более	10
фракции с размером частиц более 1,0 мм, не более	10
3. Содержание основного вещества, % не менее	80
4. Молекулярная масса полимера, млн., не менее	3...5
предпочтительно, более	10
5. Время растворения, мин., не более	60
6. Нерастворимый остаток, %, не более	0,3
7. Растворы полимера должны фильтроваться без затухания.	
8. Отношение фактора сопротивления	
к остаточному фактору сопротивления, не менее	2,5
9. Растворы полимера не должны вызывать коррозию оборудования.	
10. Важнейшим условием успешного применения полимеров является сохранение высоких исходных свойств их растворов при приготовлении и закачке в пласт.	
11. Конструкция оборудования для приготовления растворов ПАА и система их нагнетания должны обеспечить сокращение до минимума промежутка времени от смешения порошка с водой до подачи смеси на КНС; сокращение до минимума времени прохождения суспензии полимера по водоводам; герметизацию узлов установки приготовления суспензии полимера.	



## Характеристика различных марок полимерных агентов

№ п/п	Марка ПАА	Технические характеристики			Характер. вязкость, дл/г	Реологическая характеристика			
		Молекулярная масса, 10 <sup>6</sup> Дальтон	Степень гидролиза, % мольн	Время полного растворения в минер. воде, мин		Эффективная вязкость			Статическое напряжение сдвига, Па
						Условия - концентрация и температура	При V сдвига 5 с <sup>-1</sup> , мПа*с	При V сдвига 150 с <sup>-1</sup> , мПа*с	
1	POLYDIA PDA-1004	9	5	120	10-11	C <sub>ПАА</sub> =0,3%, T=25 С 0	1414	294	5,6
2	Полиакриламид DP9-8177	6	5	120	9-10	C <sub>ПАА</sub> =0,5% (буклет)	3500	220	3,8
3	Полиакриламид "SEURVEY" марки R (марки R-1, R-2, R-3)	11	9	120	12-14	C <sub>ПАА</sub> =0,3%, T=70 С 0	2255	291	4,4
4	Полиакриламид "Softpusher"	9	8	120	11-14	C <sub>ПАА</sub> =0,5% (буклет)	6100	390	
5	Полиакриламид АК-642	1,3	6,6	180	4,9	C <sub>ПАА</sub> =1,7%, T=25 С 0	68,8	47,1	
6	Полиакриламид АК-631	1,1	0,5	180	4,3	C <sub>ПАА</sub> =1,7%, T=25 С 0	51,3	38,7	
7	Алкофлад 955 (Alcoflood® 955)	7,7	3,6	90	11	C <sub>ПАА</sub> =0,5%, T=70 С 0	2682	535	15,7
8	Полиакриламид FP 107	15	13-18						
9	Полиакриламид FP 207	9	5-10						
10	Полиакриламид AN 125	8							

**Типовая схема выполнения проекта полимерного воздействия****8 нагнетательных скважин****Показатели разработки пилотного участка:**

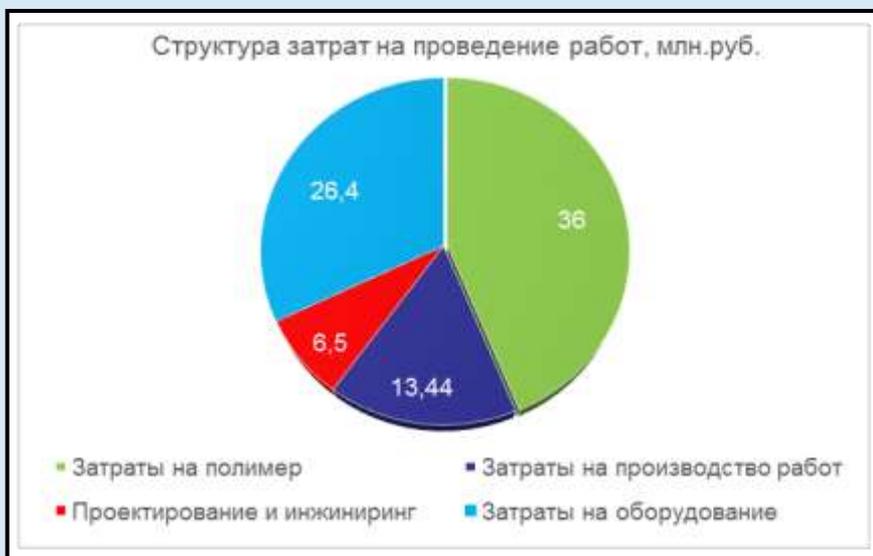
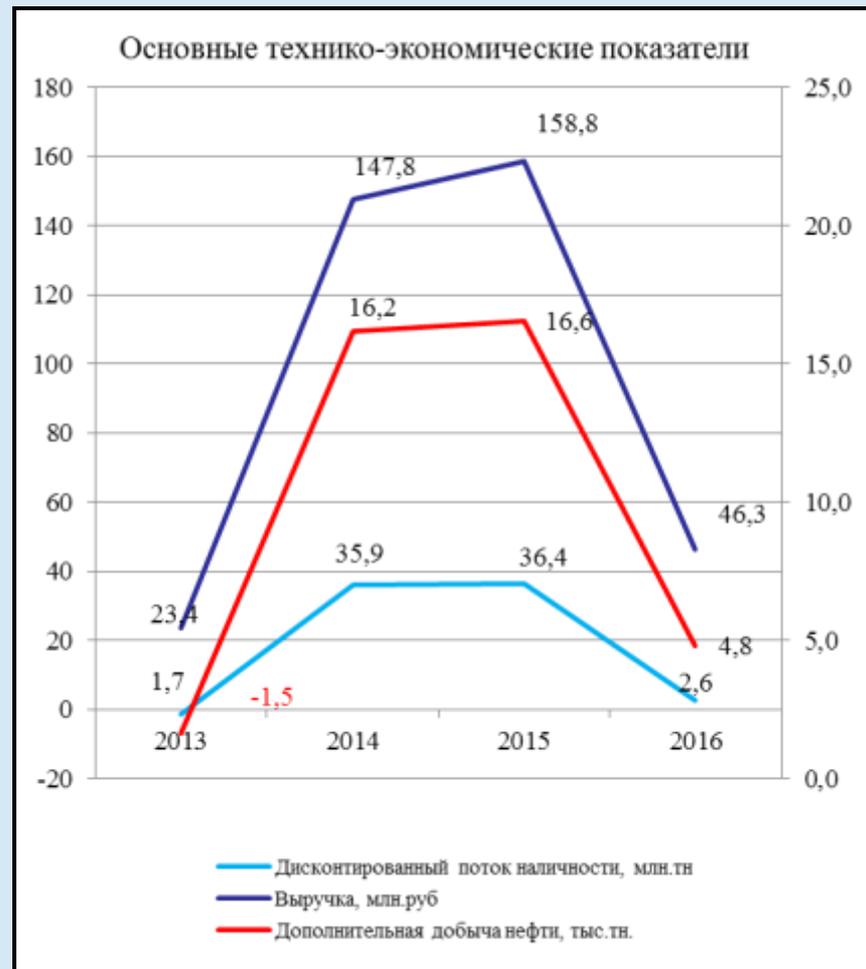
№ п/п	Показатель	МЭР, т/мес	Дебит, т/сут	Q и накопл, т
1	Добыча нефти	3 557,00	127,04	1 935 097,00
2	Добыча жидкости	40 378,00	1 442,07	5 498 223,00
3	Закачка	24 683,00	881,54	4 650 313,00
4	Обводненность, %	91,19		

Пласт	
Площадь, м <sup>2</sup>	7 893 899
Эфф. нефтенасыщенная толщина, м	9,0
Коэффициент пористости, д. ед.	0,172
Коэффициент нефтенасыщенности, д. ед	0,619
Объемный коэффициент	1,228
Плотность нефти в пов. усл.	0,849
Геологические запасы, тонн	
Проектный КИН, д. ед.	
Начальные извлекаемые запасы, тонн	
Накопленная добыча нефти, тонн	
Текущий КИН, д. ед.	
Остаточные извлекаемые запасы, тонн	
Коэффициент выработанности ИЗ, %	95,8



## Технико-экономические показатели проекта

Показатель	Ед. изм.	Значение
Период проведения работ	год	2013-2015гг.
Объем закачки	тыс. м <sup>3</sup>	952
Необходимое количество реагента	тонн	180
Прогнозная дополнительная добыча нефти	тыс. тн	39,2
Операционные затраты	млн. руб	82,34
Денежный поток проекта	млн. руб	85,5
Дисконтированный поток наличности (при 10%)	млн. руб	73,4
Дисконтированный поток наличности (при 15%)	млн. руб	68,4
Индекс доходности	ед.	1,29
Период окупаемости	год	1





## ***Реагенты нового поколения - ПФР***

**Реагент ХСИ-4601 – полифункциональный реагент, ТУ 2458-002-66875473-2013.**

**Жидкость от светло-желтого до бордового цвета. Плотность при 20 °С не менее 950 кг/м<sup>3</sup>; рН= 4,5-8,0; температура застывания – не нормируется.**

**Сертификат на применение химпродукта в технологических процессах добычи и транспорта нефти, ТЭК RU.ХП25.Н04642.**

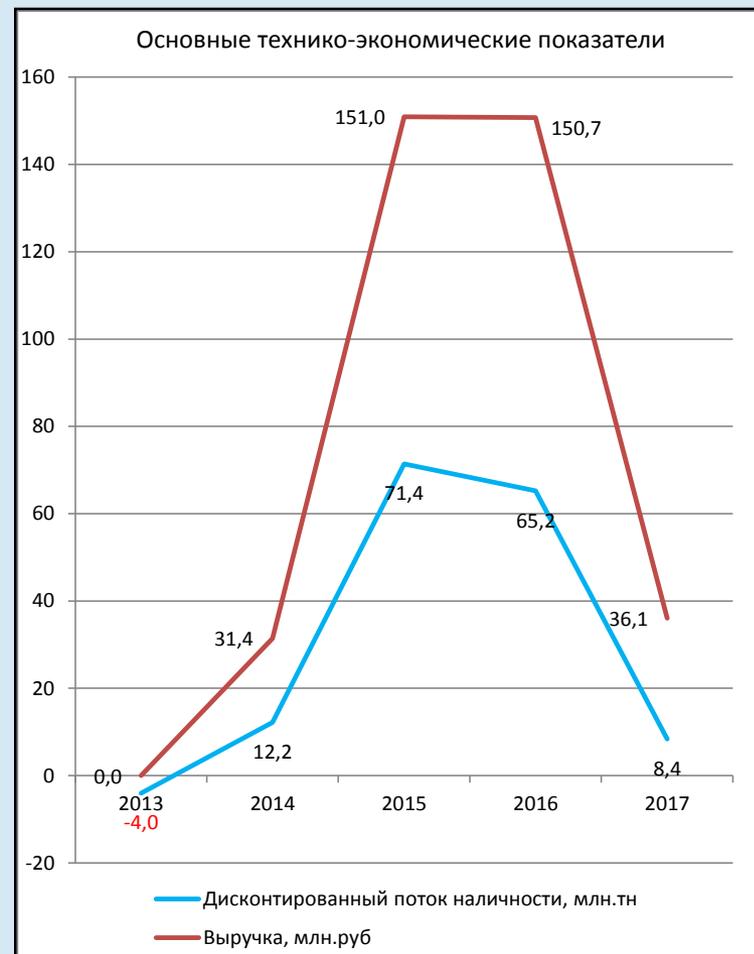
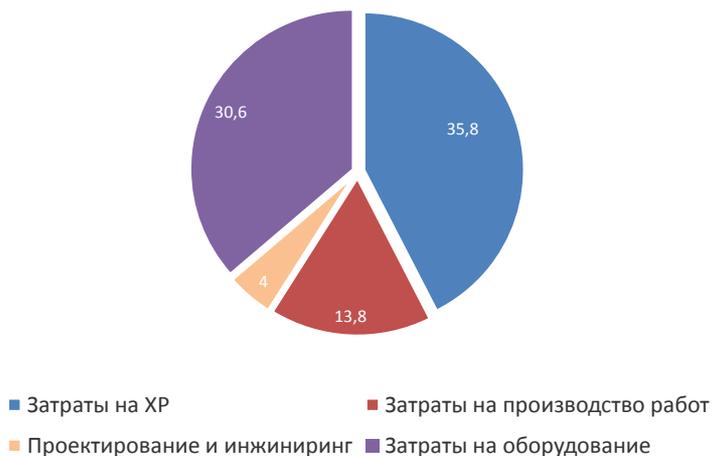
***Исследование влияния полифункциональных реагентов на реологические свойства нефти.*** Концепция, положенная в основу технологии, базируется на химическом воздействии на металлопорфирины (МП) нефтей полифункциональными реагентами, что приводит к разрушению асфальто-смолистых структур. Это, в свою очередь, приводит к изменению физико-химических свойств нефтей. МП способны вступать в реакцию экстраординации с соединениями, обладающими комплексообразующими свойствами, образуя при этом так называемые экстракомплексы. С целью изучения влияния комплексообразующих реагентов на физико-химические свойства нефтей были использованы нефти месторождений Республики Татарстан, Республики Башкортостан и Сибири.



## ТЭО по применению площадного воздействия ХСИ-4601

Показатель	Ед. изм.	Значение
Период проведения работ	год	2014-2017гг.
Объем закачки	тыс. м <sup>3</sup>	198
Необходимое количество реагента	тонн	330
Прогнозная дополнительная добыча нефти	тыс. тн	39,30
Операционные затраты на проект	млн. руб	87,1
Денежный поток проекта	млн. руб	194,9
Дисконтированный поток наличности (при 10%)	млн. руб	153,2
Дисконтированный поток наличности (при 15%)	млн. руб	137,1
Индекс доходности	ед.	2,1
Период окупаемости	год	1

Структура затрат на проведение работ, млн.руб.





## ***Выводы***

- 1. Прогрессирующий рост трудноизвлекаемых запасов, а именно запасов, не извлеченных после заводнения, предопределил внимание к новым методам увеличения нефтеотдачи.**
- 2. Причины преимущественного применения химических методов во многом связаны со структурой остаточных запасов нефти в России, значительная доля которых сосредоточена на заводненных месторождениях, в низкопроницаемых пластах.**
- 3. Регулирование свойств нефтегазовых пластов определяется наноразмерным механизмом воздействия химическими реагентами.**
- 4. Большие резервы увеличения КИН заключаются в использовании химических МУН при заводнении месторождений на фоне других способов регулирования фронта продвижения закачиваемой воды.**
- 5. Рассмотрены методы повышения эффективности заводнения в условиях поздней стадии разработки месторождений, направленные на увеличение степени нефтеизвлечения: закачка полифункциональных реагентов, полимеров нового поколения.**

# ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ И ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ

ТЕХНОЛОГИИ  
выравнивания профиля  
приемистости нагнетательных скважин

Гелеобразующие  
технологии:

- «ГИПАН СХ+»
- Термотропные составы (РВ ПНП)
- Сшитые полимерные составы

Змутьсеобразующие  
технологии:

- СНО-4Б
- ЗМКО
- ЗКС-ЭМ

Полимерное  
заводнение



**ОЛЕГ КУЗНЕЦОВ**  
Руководитель направления  
полевых работ  
2007, 2010, 2012,  
2013, 2014, 2015



**ЕВГЕНИЙ ЛЮБИМОВ**  
Заместитель  
направления полевых работ  
по технологии



**ЛЮБОВЬ ЖУРАВЛЕВА**  
Специалист  
технологии заводнения  
2008, 2010, 2011



**РУСЛАН ВАСЮРИН**  
Специалист по технологии  
заводнения  
2011, 2012, 2013, 2014, 2015

ВАРИАНТЫ  
площадного заводнения  
с применением ПФР –  
«ХСИ-4601» и НПАВ

ТЕХНОЛОГИИ  
интенсификации добычи  
нефти и газа

ОПЗ добывающих  
и нагнетательных скважин  
с применением сухокислотных  
составов

ОПЗ добывающих  
и нагнетательных скважин  
в карбонатных и низко-  
проницаемых глинистых  
терригенных коллекторах  
с применением кислотных  
составов

ОПЗ добывающих  
и нагнетательных скважин  
с применением поли-  
функционального реагента  
«ХСИ-4601»



ООО Многопрофильная Компания

# ХимСервисИнжиниринг

Tel.: +7 (495) 332-00-85 • Web: [www.cse-inc.ru](http://www.cse-inc.ru)



ООО Многопрофильная Компания

«ХИМСЕРВИСИНЖИНИРИНГ»

---

# Спасибо за внимание!

---

По всем интересующим Вас вопросам обращайтесь:

Адрес: **117420, г. Москва, ул. Наметкина, д. 14 корп. 2, офис 601**

тел.: **+7 (495) 718-58-12**, тел./факс: **+7 (495) 332-00-85**

e-mail: **[info@cse-inc.ru](mailto:info@cse-inc.ru)**

**[www.cse-inc.ru](http://www.cse-inc.ru)**

---