

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2020.4.230-242>

УДК 622.276.8

## **Системные аспекты совмещения технологий сбора транспорта и подготовки продукции скважин**

*Розенцвайг А.К.*

*Набережночелнинский институт КФУ, Набережные Челны, Россия*

## **System aspects of combining technologies of transportation and preparation of wells products**

*A.K. Rozentsvaig*

*Naberezhnye Chelny Institute of Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia*

**E-mail: [a\\_k\\_r@mail.ru](mailto:a_k_r@mail.ru)**

**Аннотация.** Совмещение технологических операций подготовки нефти, газа и воды оказывается исключительно плодотворным методом для повышения эффективности нефтепромысловых процессов. Этот универсальный подход к совершенствованию технологии сбора, транспорта и подготовки продукции скважин позволяет использовать внутренние ресурсы продукции скважин. Особенно эффективно совмещение операций по транспортированию и разрушению эмульсий в промысловых трубопроводах, что позволяет использовать пластовое давление и температуру для снижения эксплуатационных затрат.

Совмещение технологических операций, которые реализуют разнородные физические явления, порождает ряд принципиально новых и сложных проблем. Переход к сложным процессам предполагает необходимость обоснования их состава и структуры, которые реализуются при обустройстве конкретного объекта нефтедобычи. В отличие от простых однородных процессов совмещение требует системного подхода и ограничено возможностями физических явлений, которые задействованы в каждом проекте. Наряду с выбором возможных элементов сложных технологических процессов необходимо согласовать результат их взаимодействия.

Это наиболее сложная и не формализуемая задача требует знания характерных особенностей предметной области и данных экспериментальных исследований, которые нельзя получить с помощью общих методов теоретического анализа. Согласование механизмов простых физических явлений в составе сложного процесса является ресурсом энергосбережения при разрушении промысловых эмульсий.

**Ключевые слова:** сбор продукции скважин, нефтяные эмульсии, подготовка нефти, разрушение эмульсий, совмещенные технологии, взаимосвязь физических явлений.

**Для цитирования:** Розенцвайг А.К. Системные аспекты совмещения технологий сбора транспорта и подготовки продукции скважин//Нефтяная провинция.-2020.-№4(24).-С.230-242. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2020.4.230-242>

**Abstract.** Combining the technological operations of oil, gas and water treatment is an extremely fruitful method for improving the efficiency of oilfield processes. This universal approach to improving the technology of collecting, transporting and preparing well products allows you to use the internal resources of well products. It is particularly effective to combine operations for transportation and destruction of emulsions in field pipelines, which allows you to use reservoir pressure and temperature to reduce operating costs.

Combining technological operations that implement heterogeneous physical phenomena creates a number of fundamentally new and complex problems. The transition to complex processes implies the need to justify their composition and structure, which are implemented in the development of a specific oil production facility. Unlike simple homogeneous processes, combining requires a systemic approach and is limited by the possibilities of physical phenomena that are involved in each project. Along with the choice of possible elements of complex technological processes, it is necessary to coordinate the result of their interaction.

This is the most complex and non-formalizable task that requires knowledge of the specific features of the subject area and experimental research data that cannot be obtained using General methods of theoretical analysis. Coordination of mechanisms of simple physical phenomena as part of a complex process is a resource for energy saving in the destruction of commercial emulsions.

**Key words:** collection of well products, oil emulsions, oil preparation, destruction of emulsions, combined technologies, interrelation of physical phenomena

**For citation:** A.K. Rozentsvaig Sistemnye aspekty sovmeshhenija tehnologij sbora transporta i podgotovki produkcii skvazhin [System aspects of combining technologies of transportation and preparation of wells products]. Neftyanaya Provintsiya, No. 4(24), 2020. pp.230-242. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2020.4.230-242> (in Russian)

В результате широко внедрения методов законтурного и внутриконтурного заводнения для интенсификации добычи нефти на месторождениях Татарстана значительно увеличился объем и изменился состав извлекаемой пластовой жидкости. Это привело к дефициту имеющихся мощностей по подготовке больших объемов обводненной нефти на основе тради-

ционной технологии сбора и подготовки продукции скважин. Для эффективного разрушения эмульсии обычно использовались предварительный нагрев и обработка ее деэмульгатором перед длительным отстоем в технологических аппаратах. В сложившихся условиях необходимо было снизить нагрузку на технологическое оборудование, которая увеличилась из-за высокой обводненности продукции скважин, до поступления на термохимические установки.

Теоретические разработки и комплексные экспериментальные исследования специалистов института ТатНИПИнефть под руководством проф. В.П. Тронова позволили оперативно найти оригинальный подход к сравнительно простому и эффективному решению сложной производственной задачи. Совмещение процессов промыслового сбора и предварительного разрушения нефтяных эмульсий привело к разработке и внедрению высокоэффективных технологических и технических средств, предназначенных для повышения качества товарной нефти. Большую роль в успешном решении проблемы подготовки нефти с минимальными затратами на поздней стадии эксплуатации месторождений Татарстана сыграла поддержка работниками НГДУ и руководством объединения «Татнефть».

Многие из промысловых технологий, решая свои специфические проблемы, порождают серьезные препятствия для реализации других, не менее важных операций нефтедобычи. Взаимный ущерб связан с несовместимостью некоторых технологических приемов и методов. Совмещенная технология сбора и подготовки нефти, добываемой на нефтяных месторождениях Татарстана, позволила получить большой экономический эффект и получила дальнейшее развитие в нефтяной отрасли далеко за пределами ОАО «Татнефть». Новаторские идеи проф. Тронова В.П. оказались очень плодотворными для совершенствования практически всех технологических процессов подготовки нефти, газа и воды [1].

Классическая технология разрушения эмульсий в динамических

условиях совмещенных технологий сбора и подготовки нефти представлена следующими относительно самостоятельными этапами [2]:

- разрушение эмульсии в присутствии деэмульгатора и укрупнение глобул пластовой воды при турбулентном режиме движения потока.
- разрушение межфазного слоя в слаботурбулентном режиме.
- отделение воды от нефти в условиях ламинарного режима движения.

Наиболее простыми аппаратами, в которых эффективно осуществляются первый и второй этапы после обработки деэмульгатором, являются промышленные трубопроводы, которые раньше способствовали формированию стойких эмульсий. Эти методы эффективны также и при снижении продуктивности скважин на поздней стадии разработки месторождений, так как позволяют сократить число действующих объектов и значительно уменьшить эксплуатационные расходы на их обслуживание.

В настоящее время условия рыночной экономики активные продвигаются альтернативные источники энергии, использование которых вытесняет углеводородные сырьевые ресурсы. В любом виде деятельности на первый план выдвигаются экономические показатели эффективности, в частности экологической безопасности и энергосбережения. Актуальность совмещения технологических процессов, разработки универсального оборудования, стандартизации организационных и технических характеристик производственных процессов постоянно возрастает. Однако основой всего этого являются состав и возможности физико-химических явлений, используемых при разрушении эмульсий, в условиях технологических схем, которые заложены в каждом проекте обустройства конкретного объекта нефтедобычи.

Предварительные лабораторные исследования физических явлений при разрушении эмульсий позволяют оценить только относительную эффективность технологических решений и в условиях, далеких от реального обустройства конкретного месторождения. Для переноса данных лабора-

торных опытов в реальные условия необходимы теоретически обоснованные расчетные зависимости, которые адекватно отражают взаимосвязь технологических и физико-химических параметров в достаточно широком интервале, перекрывающем границы их возможного изменения. Модельные соотношения не могут детально учитывать влияния всех факторов, что обычно обуславливает наличие в них эмпирических констант, которые представляют влияние состава продукции скважин и индивидуальных характеристик технологического оборудования.

Чтобы создать основу структуры для технологических процессов промышленной подготовки нефти, которая решала бы целевую задачу энергосбережения необходимо основываться на физических явлениях, таких как дробление, коалесценция и седиментации капель дисперсной фазы эмульсии. Эти самые простые, элементарные физические явления, а точнее их механизмы (МЭФЯ), являются универсальными характеристиками и могут воспроизводиться в модельных условиях [3, 4]. Эмпирические константы в таком случае будут иметь значения, аналогичные их величине в реальных условиях. Различным сочетаниям внутренних и внешних параметров (теплофизических, расходных и геометрических) соответствуют различные режимы и составы механизмов элементарных физических явлений. При этом состав МЭФЯ, а также их взаимосвязь - степень вовлечения в совместный физический процесс предопределены большим числом внутренних и внешних факторов.

В реальных условиях при движении продукции скважин по промышленным трубопроводам снижение давления сопровождается фазовыми превращениями пластовой нефти. Нарушение фазового равновесия приводит к образованию и росту пузырьков легких углеводородных фракций, подобных кипению перегретой жидкости. Парообразование также отличаются разнообразием механизмов элементарных явлений, которые во многом взаимосвязаны с гидродинамическими и кинетическими процессами. Мо-

делирование таких взаимосвязанных явлений различной физической природы, необходимое для проектирования технологических процессов с неравновесными эмульсиями, является сложным и до конца не формализуемым [5].

Совмещение технологических операций, которые реализуют разнородные физические явления, порождает ряд принципиально новых и сложных проблем. Одной из них является переход от простых однородных процессов к процессам сложным, обуславливающим необходимость обоснования их состава и структуры, которые реализуются в определенных условиях. Другая проблема связана с взаимодействием простых процессов в составе сложной технологии. Результат взаимодействия не аддитивен, он зависит от множества как внутренних, так и внешних параметров и зачастую носит случайный характер.

И, наконец, большое число механизмов разнородных физических процессов и их комбинаций, которые могут происходить в турбулентных течениях жидкостных эмульсий с фазовыми превращениями, требует применения методов системного анализа.

На рис. 1 изображены три отдельные области однородных физических явлений в жидкостных эмульсиях: *A* – гидродинамических, *B* – кинетических и *C* – фазовых превращений (парообразование, разгазирование). Выделены хорошо изученные, теоретически обоснованные и обеспеченные модельными средствами расчета физические явления, которые могут происходить по отдельности друг от друга при движении эмульсии.

Проблемы возникают в условиях, когда для достижения технологического эффекта необходима их совместная реализация (на схеме это области *AB*, *AC*, *BC* и *ABC*). При этом разнородные явления должны конкурировать между собой и распределять внешнюю энергию таким образом, чтобы каждый из них способствовал достижению необходимого результата.



Рис. 1. Физические явления при течении эмульсии в трубопроводе

Эти проблемы нельзя решать традиционными методами из-за отсутствия теоретического описания нелинейных, взаимосвязанных разнородных явлений. В этом случае альтернативой остаются критериальные модели, которые отражают реальное физическое содержание моделируемого процесса. Качественные феноменологические представления остаются важными средствами формирования сложных моделей технологических процессов. Они позволяют основываться на составе тех физических явлений, которые предполагается закладывать в основу совмещения технологических процессов.

Для переноса данных лабораторных опытов в реальные условия также необходимы интерпретирующие их расчетные соотношения, адекватно отражающие взаимосвязь технологических и физико-химических параметров в достаточно широком интервале их возможного изменения.



Физические явления дробления и связанные с ним коалесценция и седиментация капель определяют характер взаимодействия дисперсной фазы со сплошной средой эмульсии. В зависимости от гидродинамических условий и параметров турбулентности механизмы этих явлений носят динамический или вязкий характер.

С другой стороны, размеры капель дисперсной фазы и их концентрация влияют на вязкость эмульсии, потери напора, структуру турбулентности. В конечном итоге, формируются структурные формы совместного течения несмешивающихся жидкостей. На рис.2 представлены возможные сочетания кинетических и гидродинамических процессов в области *AB* [6].



Рис.2. Взаимосвязь гидродинамических и кинетических процессов

Другие области на рис.1, которые представляют возможное совмещение различных разнородных процессов:

- *АС* - физические явления фазового превращения однородной жидкости при турбулентном движении, которые интенсифицируются энер-



гией пульсаций скорости.

- **BC** - физические явления трансформации дисперсной фазы происходят в неподвижном объеме эмульсий под воздействием фазовых превращений, которые могут происходить как в дисперсной фазе, так и в сплошной среде в зависимости от их летучести.
- **ABC** - ситуация значительно усложняется тем, что характеристики турбулентных пульсаций взаимосвязаны и с кинетическими процессами в дисперсной фазе, и с фазовыми превращениями в гетерогенной среде.

Взаимное влияние друг на друга разнородных физических явлений в выбранном составе при проектировании сложного технологического процесса носит сложный и не формализуемый до конца характер. Необходимо дополнительное согласование перераспределения энергии между механизмами кинетических процессов и фазовых превращений с гидродинамическими механизмами переноса импульса в многофазной среде.

Сложный процесс, состав и структура которого получена эвристическим путем, проходят при этом верификацию и оценивание эмпирических констант на основе экспериментальных данных проектируемого физического процесса в реальных условиях. В дополнение к спецификации всех возможных простых физических процессов - элементов сложных моделей переноса необходимо представить дополнительное описание их нелинейного взаимодействия в каждом частном случае. Так на рис.3 схематично изображен процесс согласования модельной структуры взаимосвязанных механизмов разнородных физических процессов с характерными особенностями предметной области. Процедура согласования наряду с идентификацией формы математической модели предусматривает оценивание модельных констант. Величина констант отражает индивидуальный вклад каждого простого физического явления в составе сложного технологического процесса.



*Рис.3. Согласование механизмов сложного процесса переноса энергии при разрушении эмульсии*

Взаимодействие физических явлений в технологических процессах различной природы зависит от большого числа общих факторов и может носить неоднозначный характер. В одном предельном случае оно может носить конкурентный, препятствующий протеканию друг друга, характер. В другом случае, когда создаются благоприятные условия для их одновременного протекания, одни из них могут инициировать другие. Формирование состава моделей сложных теплофизических явлений, адекватного их реальному физическому содержанию, является нетривиальной научной проблемой.

Различным сочетаниям внутренних и внешних параметров (теплофизических, расходных и геометрических) соответствуют различные режимы и составы механизмов элементарных физических явлений (МЭФЯ). При этом состав МЭФЯ, а также степень вовлечения их в совместный физический процесс predeterminedены большим числом факторов. Каждый из них

будет различаться составом МЭФЯ и характером влияния их друг на друга в зависимости от условий реализации в каждом конкретном случае.

Вклад размерных параметров в результат сложных физических процессов переноса обычно представлен несколькими механизмами элементарных явлений. Для параметрического анализа неоднозначного поведения таких переменных требуется большой объем экспериментальных измерений. Модельные представления, которые обоснованы составом и структурой МЭФЯ в форме критериев подобия, детализируют характер влияния каждого из механизмов. При этом достигается соответствие характеристик экспериментального оборудования и средств формализации их аналитическими расчетными зависимостями.

Кроме того, в дополнение к спецификации всех этих возможных элементов сложных моделей переноса необходимо представить дополнительное описание их нелинейного взаимодействия в каждом частном случае. Обычно это можно сделать на основе характерных особенностей предметной области и данных экспериментальных исследований в форме эмпирических взаимосвязей, которые нельзя получить методами теоретического, априорного анализа. В них реальная структура физических процессов в жидкостных эмульсиях отражается только косвенно, константами корреляционных соотношений в осредненном виде. Для явного представления структуры физических процессов необходимо в них вводить дополнительные критерии с учетом всех действующих механизмов элементарных явлений. Но чтобы избежать очевидной не аддитивности их взаимодействия нужно делать это с помощью специальных приемов включения [9].

Совмещение технологических процессов сбора и подготовки обводненной нефти не является простой суммой каждого из них. В зависимости от условий реализации формируется свой уникальный состав МЭФЯ и характер влияния их друг на друга. Они могут стимулировать друг друга и повышать эффективность совмещения, но, с другой стороны, возможна

и обратная, негативная ситуация. Однако в этом случае возможны и другие, положительные последствия совмещения, такие как экономические или экологические.

### Список литературы

1. Тронов В.П. Взаимовлияние смежных технологий при разработке нефтяных месторождений. – Казань: Изд-во «Фан» Академии наук РТ, 2006. -736 с.
2. Подготовка нефти на месторождениях Татарстана / А.И. Ширеев, В.П. Тронов, Р.З. Сахабутдинов, И.Х. Исмагилов, Ф.Р. Губайдулин, О.В. Бусарова // Нефтяное хозяйство. – 2005. - №2. - С.100-102.
3. <http://naukarus.com/podgotovka-nefti-na-mestorozhdeniyah-tatarstana>
4. Rozentsvaig A.K. Breakup of droplets in turbulent shear flow of dilute liquid-liquid dispersions // Journal Applied Mechanics and Technical Physics. – 1981. - vol. 22(6). - P. 797-802.
5. Розенцвайг А.К. Энергосберегающие структуры процессов переноса в дисперсных системах. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2016. – 325 с.
6. Розенцвайг А.К. Моделирование поведения дисперсной фазы в неизотермическом турбулентном потоке эмульсии // Современные наукоемкие технологии. -2020. - № 7. - С. 84-89. DOI: 10.17513/snt.38139.
7. Rozentsvaig A.K. and Strashinskii Ch.S. Modeling of complex processes in turbulent flow of unstable emulsions of immiscible liquids // Periodica Polytechnica: Chemical Engineering. -2017. - vol. 61(3). - P. 216-226.
8. <https://doi.org/10.3311/PPch.9504>
9. Rozentsvaig A.K. and Strashinskii Ch.S. Droplets behavior of subcooled dispersed phase under nucleate boiling of continuous phase of liquid emulsion // International Journal of Heat and Mass Transfer. -2018. - vol. 125. - P. 1274-1283. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.082>
10. Розенцвайг А.К. Влияние фазовых превращений капель дисперсной фазы на гидродинамику течений жидкостных эмульсий // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2020. -№ 6. - С. 62-66. DOI: 10.17513/mjpf.13090.
11. Rozentsvaig A.K. and Strashinskii Ch.S. Identification of models of transfer processes in complex disperse systems // Applied Mathematical Sciences. -2016. -vol. 10 (21-24). - P. 1151-1161. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2016.6137>

### References

1. Tronov V.P. *Vzaimovliyanie smezhnykh tekhnologiy pri razrabotke neftyanykh mestorozhdeniy* [Mutual influence of related technologies in the development of oil fields]. – Kazan': Izd-vo «Fan» Akademii nauk RT, 2006. -736 p. ( in Russian).
2. *Podgotovka nefti na mestorozhdeniyakh Tatarstana* [Oil preparation in the fields of Tatarstan] / A.I. Shireyev, V.P. Tronov, R.Z. Sakhabutdinov, I.KH. Ismagilov, F.R. Gubaydulín, O.V. Busarova // Oil industry. – 2005. - №2. - pp.100-102.
3. <http://naukarus.com/podgotovka-nefti-na-mestorozhdeniyah-tatarstana>
4. Rozentsvaig A.K. *Breakup of droplets in turbulent shear flow of dilute liquid-liquid dispersions* // Journal Applied Mechanics and Technical Physics. – 1981. - vol. 22 (6). - pp. 797-802.

5. Rozentsvaig A.K. *Energoberegayushchiye struktury protsessov perenosa v dispersnykh sistemakh* [Energy-saving structures of transfer processes in dispersed systems] – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2016. – 325 p. ( in Russian).
6. Rozentsvaig A.K. *Modelirovaniye povedeniya dispersnoy fazy v neizotermicheskom turbulentnom potoke emul'sii* [Modeling the behavior of the dispersed phase in a non-isothermal turbulent emulsion flow] // Modern high technologies. -2020. -№ 7. - pp. 84-89. DOI: 10.17513/snt.38139.
7. Rozentsvaig A.K. and Strashinskii Ch.S. *Modeling of complex processes in turbulent flow of unstable emulsions of immiscible liquids* // Periodica Polytechnica: Chemical Engineering. -2017. - vol. 61(3). - P. 216-226.
8. <https://doi.org/10.3311/PPch.9504>
9. Rozentsvaig A.K. and Strashinskii Ch.S. *Droplets behavior of subcooled dispersed phase under nucleate boiling of continuous phase of liquid emulsion* // International Journal of Heat and Mass Transfer. -2018. - vol. 125. - P. 1274-1283. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.082>
10. Rozentsvaig A.K. *Vliyaniye fazovykh prevrashcheniy kapel' dispersnoy fazy na gidrodinamiku techeniy zhidkostnykh emul'siy* [Effect of phase transformations of dispersed phase droplets on the hydrodynamics of liquid emulsions flow] // International journal of applied and fundamental research. - 2020. -№ 6. - pp. 62-66. DOI: 10.17513/mjpf.13090.
11. Rozentsvaig A.K. and Strashinskii Ch.S. *Identification of models of transfer processes in complex disperse systems* // Applied Mathematical Sciences. -2016. -vol. 10 (21-24). - pp. 1151-1161. <http://dx.doi.org/10.12988/ams.2016.6137>

### Сведения об авторе

*Розенцвайг Александр Куртович*, доктор технических наук, профессор Набережночелнинского института, Казанский федеральный университет  
Россия, 423823, Набережные Челны, проспект Мира, 68/19 (1/18)  
E-mail: [a\\_k\\_r@mail.ru](mailto:a_k_r@mail.ru)

### Author

*A.K. Rozentsvaig*, Dr.Sc, Professor Naberezhnye Chelny Institute, Kazan Federal University  
68/19 (1/18), Prospekt Mira, Naberezhnye Chelny, 423823, Russia  
E-mail: [a\\_k\\_r@mail.ru](mailto:a_k_r@mail.ru)

Scopus (**Author ID**) <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56962780000>

Web of Science (**Researcher ID**) <http://www.researcherid.com/rid/O-4045-2014>

*Статья поступила в редакцию 07.11.2020  
Принята к публикации 17.12.2020  
Опубликована 30.12.2020*