

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОМЫСЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ПАРОВОЙ НАСАДКИ В НЕФТЯНЫХ АМБАРАХ

Айсаев С.У., Диярова Л.Д.

*Жұмыста қамбалық мұнайды дыбыстан жоғары жылдамдықты бу қондырғысымен сұйықтандыру және одан сапалы мұнай өнімдерін алу технологиясы баяндалған. Су буының өте ысытылған дыбыстан жоғары жылдамдықты көлденең ағыстарын мұнай қалдықтарына енгізу арқылы тазалауды зерттеу және оның өндірістік сынақ нәтижелері келтірілген. Мұнай қалдықтарын тазалаудың технологиялық схемасы құрылған.*

*Basic results of research and manufacturing tests of super sound steam fixing for firing up coagulated oil storehouses in various conditions and work regimes is considered in this article. Technological scheme of purifying oil storehouse is given.*

Опытно-промышленные испытания показали, что наиболее эффективным способом сбора амбарной нефти является разжижение сгустившейся органической массы, которую необходимо отбирать в жидком виде.

Суть предлагаемого технического решения заключается в разжижении сгустившейся амбарной нефти путем использования кольцевой сверхзвуковой струй водянго пара, генерируемого обычной передвижной паровой установкой (ППУ/А-1600/100), снабженной телескопической стрелой со сгибом, позволяющей доставлять насадку со сверхзвуковой струей горячего пара на разные участки амбара. Паропровод для получения сверхзвуковой струи соединяется с кольцевой камерой, заканчивающей кольцевым соплом Лавалья с центральным телом [1-3].

В работе [4] определены конструктивные характеристики паровой насадки определены и проведен газодинамический расчет кольцевого сопла Лавалья [4].

Перегретый пар можно получить хорошо известной нефтяникам передвижной паровой установкой ППУА1600/100 с массовым расходом  $G=1600$  кг/час, температурой  $t = 310^{\circ}\text{C}$  и давлением  $P_0=100$  атм. Такое большое давление пара может привести к неэффективной трате потенциальной энергии из-за взрывного характера взаимодействия пара с амбарной нефтью, поэтому через редукторную систему давление пара снижается до  $P_0=10$  атм. При этом расход пара несколько уменьшается из-за расширения пара, однако путем подбора поперечного сечения редуктора, в принципе можно избежать потери расхода, а температура пара из-за адиабатичности процесса (в редукторной системе) практически сохраняется.

Тем не менее, в расчетах несколько снизим значения температуры и расхода (для надежности) и примем  $G=1200$  кг/час и  $t = 290$  °С. Таким образом, характеристики перегретого пара в камере перед соплом Лавалья равны:  $P_0=10$  атм  $=1,01 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>,  $T_0=563$  К,  $G_0=1200$  кг/час,  $\rho_0= 4,3$  кг/м<sup>3</sup>.

Основным звеном установки является сверхзвуковая насадка. Для её проверки были проведены промышленные испытания в нефтяных амбарах «Жетыбаймунайгаз». Насадка представляет собой кольцевое сопло Лавалья, присоединенное к цилиндрической камере. Центральное тело для отбора массы было заделано, поэтому цилиндрическая камера с торцевой стороны присоединилась к паропроводу паровой установки ППУА - 1600/100. К сожалению, гибкий паропровод, передвижной механизм, позволяющий перемещать насадку над поверхностью амбара, не были изготовлены из-за отсутствия средств. Поэтому насадка устанавливается над поверхностью амбара на одном месте из-за жесткого соединения паропровода паровой установки, что сильно ограничивало возможности насадки. После того как разжижали и отбирали нефть в одном месте, приходилось останавливать работу и передвигать насадку. Конечно, это мешало работе и снизило производительность устройства. Испытания были проведены в амбарах, где были установлены насосы для откачки нефти в коммуникационную систему внутрипромысловых нефтепроводов. Насосы были поршневые типа НБ-32 с максимальной производительностью  $Q = 36$  м<sup>3</sup>/ч.

В испытаниях задавалось несколько режимов работы – давление пара в камере насадки изменялось от 1,4 до 4,5 атм, а в реакторе ППУА-1600/100 давление варьировали соответственно от 6 до 15 атм. Расход пара поддерживался постоянным  $G=900$  кг/ч, а температура изменялась –383–413 К.

Сверхзвуковая струя пара направлялась на поверхность застывшей массы, и по мере разогрева нефти насадка погружалась в глубь амбара. Одновременно в зону разогретой нефтяной массы вводился всасывающий патрубок насоса.

В испытаниях со сверхзвуковой насадкой наблюдался более быстрый расплав застывшей нефти по сравнению с традиционным способом. Обычно к паропроводу паровой установки присоединяли цилиндрический патрубок и его опускали в ложу амбарной нефти. В этом случае пар вытекал с малой скоростью и разогревал массу большой кинетической энергии и эжекционной способности струи наблюдается большой охват ею объема амбарной нефти, т.е. в процесс разогрева вовлекается гораздо значительная масса застывшей нефти. При увеличении давления свыше 4,5 атм в камере разогретая нефть начинала сильно вскипать, что привело к разбрызгиванию нефтяной массы и потере части энергии пара. Время разогрева

необходимого объема амбарной нефти составляет не более 15 мин, после чего включается насос. Во время работы насадки в нефтяных амбарах ЗУ-5, ЗУ-19 количество расплавленной нефти было достаточно для отбора насосом НБ-32

Если в амбарах ЗУ-5, ЗУ-19 находилась свежеизлитая нефть и при циркуляционном движении расплавленной массы разогревались и вовлекались все новые слои нефтяной массы, то в старом амбаре Южного Жетыбая процесс разогрева был несколько иной. По-видимому, нефть в амбар поступала в течение многих лет, так как застывшая масса представляет собой «расслоенный пирог». В самом низу (глубина порядка 1,5 м) находилась самая тяжелая нефть в смеси с песком (видимо, залита в первом году), чуть меньшей плотности и т.д. Причем застывшая масса была в виде киров, перемешанных с песком и глиной, т.е. разрыхлять и разжижать такую массу оказалось не просто. Например, горячую воду, нагретую до 90°С, пустили из резервуара по поверхности амбара, но она, почти не взаимодействуя, практически в таком же составе стекла в яму, где находился всасывающий патрубок насоса.

Сверхзвуковая насадка была установлена на коромыслах над амбаром. К сожалению, опять же отсутствовал шарнирный механизм паровой установки, позволяющий передвигать насадку. Давление в резервуаре ППУ/А-1600/100 повысили до 20 атм, однако температура пара была низкая – 125 °С, т.е. по паропроводу от установки подавался влажный водяной пар, чуть больше, чем горячая вода. В камере насадки давление пара составило 4,5 атм, а температура торможения – 398 К. По мере разогрева нефтяной массы насадка погружалась в амбар, однако циркуляционного движения расплавленной массы не наблюдалось. Сверхзвуковая струя как бы вспорола тело амбарной нефти, образуя воронку в месте взаимодействия струи с застывшей массой, т.е. охвата или вовлечения соседних слоев за счет воздействия расплавленной массы не произошло. Для того чтобы разжижать соседние участки, пришлось переставить насадку, и в этом месте снова образовалась воронка в соответствии с формой струи в теле загустевшей массы. Таким образом, переставляя насадку в разные места, растапливали нефть в старом амбаре. В случае непрерывного перемещения насадки прогрев производился бы гораздо эффективнее, тем не менее этот опыт показал возможность применения сверхзвуковой струи пара для сбора нефти в старых амбарах.

Насадка была использована для разогрева амбарной нефти в зимних условиях, хотя эффективность процесса растопления резко снижается из-за потери тепла в окружающую среду.

Подведя итоги промысловых испытаний, можно отметить:

- использование сверхзвуковой насадки позволяет гораздо интенсивнее растопить амбарную нефть;
- перемещение сверхзвуковой насадки над поверхностью может резко увеличить эффективность сбора амбарной нефти предлагаемым способом.

Промысловое испытание опытно-промышленного образца установки начиналось 24 декабря 2009 года на месторождения Жалгызтобе (Мангистауская обл.) и продолжалось в течение 2010 года на месторождении Каражанбас (Мангистауская обл.). На рисунке 1 показано промышленное испытание установки по сбору разлитой нефти. Нефтяной амбар имеет длину 5 м, ширину 4 м и глубину 0,3 м. В нем содержится тяжелая нефть с массой 12 т и объемом 14 м<sup>3</sup>. Температура окружающей среды была -10°C. Нефть была густая, находилась практически в аморфном состоянии. Температура нефти была чуть ниже -10°C.

В испытании использовалось следующее оборудование: установка по сбору разлитой нефти УСАН, передвижная паровая установка ППУА-1600/100, агрегат АЦН с насосом ЦА-320. Насадка была установлена подъемно-передвижным механизмом в центральной части амбара на высоте 15 см от поверхности амбарной нефти. После выхода насадку на сверхзвуковой режим истечения пара ее подвели на поверхность и постепенно начали углублять в амбар. Застывшая разлитая нефть была моментально разогрета и разжижена по контуру струи. Паровая насадка с помощью подъемно-передвижного механизма (манипулятора) непрерывно перемещалась и разжижала застывшую нефть. Пар практически не выходил наружу и полностью отдавал свою тепловую и кинетическую энергию амбарной нефти. Расчетный режим истечения сверхзвуковой струи оказывал эффективное, тепловое воздействие на застывшую массу и в течение 20 мин работы установки было разогрето и разжижено до 5 м<sup>3</sup> амбарной нефти при расходе пара 0,5 м<sup>3</sup> (акт испытания имеется).

Таким образом, результаты промышленного испытания установки для сбора разлитой нефти показывают, что в течение 1 ч работы было разогрето до 12 м<sup>3</sup> амбарной нефти. Эти данные полностью подтверждают результаты термодинамического расчета разработанной термомеханической технологии сбора разлитой нефти [4,5].

Известные способы сбора амбарной нефти являются экономически невыгодными. Механическая очистка с применением экскаваторной техники не применима из-за прилипания органической массы к ковшу экскаватора. Обычное паротепловое воздействие – процесс медленный и требует больших затрат. Сверхзвуковая реактивная паровая струя оказывает механическое разрушающее воздействие на аморфную среду и высокая температура пара моментально растапливает амбарную нефть. Причем из-за местного воздействия сверхзвуковой паровой струи достигается экономия

пара по сравнению с традиционным паротепловым воздействием. Данные испытаний установки подтверждают, что созданная технология на 200% эффективнее традиционного способа сбора разлитой нефти.

Таким образом, создана и внедрена в производство термомеханическая технология сбора разлитой нефти и нефтешлама.

Результаты промышленных испытаний показали следующую оптимальную технологическую схему сбора амбарной нефти. Разжижение сгустившейся амбарной нефти производится кольцевой сверхзвуковой струей, получаемой обычной передвижной паровой установкой ППУА-1600/100 или стационарной паровой установкой УПГ.



**Рис. 1- Промышленное испытание установки по сбору разлитой нефти**

Сверхзвуковая насадка должна быть установлена на передвижном механизме, позволяющем доставлять наконечник со сверхзвуковой струей на разные участки амбара. Насадка должна непрерывно перемещаться над поверхностью амбара для интенсификации разогрева и растопления загустевшей массы. Нефть нужно отбирать через внутренний патрубок насадки.

Подобная конструкция нефтесборника с горячей паровой оболочкой предохраняет трубопровод от застывания нефти и образования пробок. В принципе возможна отдельная конструкция всасывающего патрубка.

Следует иметь в виду, что растопление нефтяной массы кольцевой сверхзвуковой струей и отбор разжиженной эмульсии всасывающим патрубком одной и той же насадки более эффективны для сбора амбарной нефти.

Всасывающий патрубок насадки через гибкий шланг соединен с насосом НБ-32. Разжиженную водонефтяную эмульсию можно отбирать насосом и подавать на установку, где эмульсия очищается от механических примесей, воды и обессоливается. Амбарная нефть содержит минеральные соли, большое количество механических примесей.

На рисунке 2 приведена технологическая схема очистки амбарной нефти и нефтешлама. Она включает оборудование и устройство, необходимые для разработки проекта установки. Технология может функционировать в двух режимах:

1) одновременно с производством пульпы (узел очистки резервуара от нефтешлама или узел по сбору амбарной нефти) без использования емкости пульпы;

2) забор пульпы из накопительного резервуара, независимо от работы устройств по производству пульпы.

Порядок технологических операций следующий. Включается в работу установка по производству пульпы или в другом режиме – воздухоудвка. В последнем случае струя сжатого воздуха путем барботажа создает однородность пульпы в емкости. Затем центробежный насос из емкости подает пульпу в струйный смеситель (в первом случае пульпа от установки, минуя емкость и центробежный насос, сразу подается в смеситель). Одновременно с подачей пульпы в смеситель вводится нагретый до 200–160<sup>0</sup>С пар. В результате смешения пара с пульпой она нагревается и дробится. На выходе из смесителя пульпа обогащается и обессоливается водой сконденсировавшегося пара, и температура смеси становится 75<sup>0</sup>С. В результате дробления и нагрева пульпа попадает в гидроциклон с более равномерным дисперсным составом и заметно меньшей вязкостью жидкой фазы. Оба фактора способствуют отделению шлама от жидкой фазы в гидроциклоне. На выходе из гидроциклона шлам (твердая фаза+вода+нефть) влажностью ниже 50 мас.%, удаляется с помощью шнекового транспортера в шламонакопитель. Одновременно со второго выхода гидроциклона вытекает пульпа с повышенным содержанием (4 мас.%) воды и пониженным (30 мас.%) содержанием твердой фазы. В гидроциклоне удаляются в основном крупные фракции (10–20) мм нерастворимого осадка.

Далее пульпа поступает в шнековую центрифугу с размером ячеек сита 0,2 мм. Здесь происходит удаление основной массы (около 69 мас.% от начального содержания в пульпе) твердой фазы. Этот шлам с помощью

шнекового транспортера направляется из центрифуги в накопительную емкость. Одновременно со второго выхода шнековой центрифуги выходит нефтеводяная эмульсия с содержанием твердой взвеси ( $\delta < 0,2$  мм) около 1 мас. %. Эмульсия поступает в накопительную емкость. Необходимость накопительной емкости очевидна. Дело в том, что весь процесс, включая шнековую центрифугу, является непрерывным. Последняя стадия – разделение эмульсии в трубчатой или тарельчатой центрифуге – является периодической. Центрифуги тонкой очистки – аппараты высокооборотные ( $n > 15000$  об/мин) и с глухим (вместо сита) ротором. Поэтому выгрузить твердую фазу на ходу практически невозможно. При накоплении твердой фазы (10–15 кг) центрифугу останавливают и выгружают твердый остаток. Снова подают эмульсию и через некоторое время опять останавливают центрифугу и так далее. Поэтому совмещение непрерывного процесса с периодическим в данном случае возможно лишь при установке накопительной емкости для эмульсии.

Из накопительной емкости эмульсия периодически подается насосом в смеситель для подогрева до  $98^{\circ}\text{C}$ . Подогрев осуществляется паром с начальной температурой  $160\text{--}200^{\circ}\text{C}$ . Эту операцию необходимо проводить непременно, поскольку нужно еще раз провести обессоливание нефти, и эффективность разделительной центрифуги зависит как от вязкости, так и от плотности разделяемых компонентов. Чем больше разница в плотностях, тем больше производительность центрифуги. Вязкость воды мало изменяется при росте температуры до  $98^{\circ}\text{C}$ , тогда как вязкость нефти лавирует значительно. Вода и нефть из центрифуги поступают непрерывно, а для удаления твердой фазы ее останавливают и выгружают в накопитель шлама. Каждый раз одна выгрузка составляет 10–15 кг. Вода содержит примерно 1 мас.% нефти и ее можно использовать для приготовления исходной пульпы. Нефть из центрифуги выходит при температуре  $98^{\circ}\text{C}$  и ее необходимо охладить до  $40^{\circ}\text{C}$ , прежде чем хранить в емкости. Для этой цели ее из центрифуги направляют в разделительный пластинчатый теплообменник, в котором охладителем является вода с начальной температурой  $20^{\circ}\text{C}$ . На выходе из теплообменника получают товарную (кондиционную) нефть, содержащую не более 1% воды, хлористых солей меньше 100 мг/л и мехпримесей до 0,05 мг/л.

Для организации непрерывного процесса на последней стадии разделения эмульсии необходимо установить две центрифуги тонкой очистки и попеременно с помощью задвижки направлять нефтеэмульсию из смесителя в центрифугу тонкой очистки, которая в данный момент работает [6].



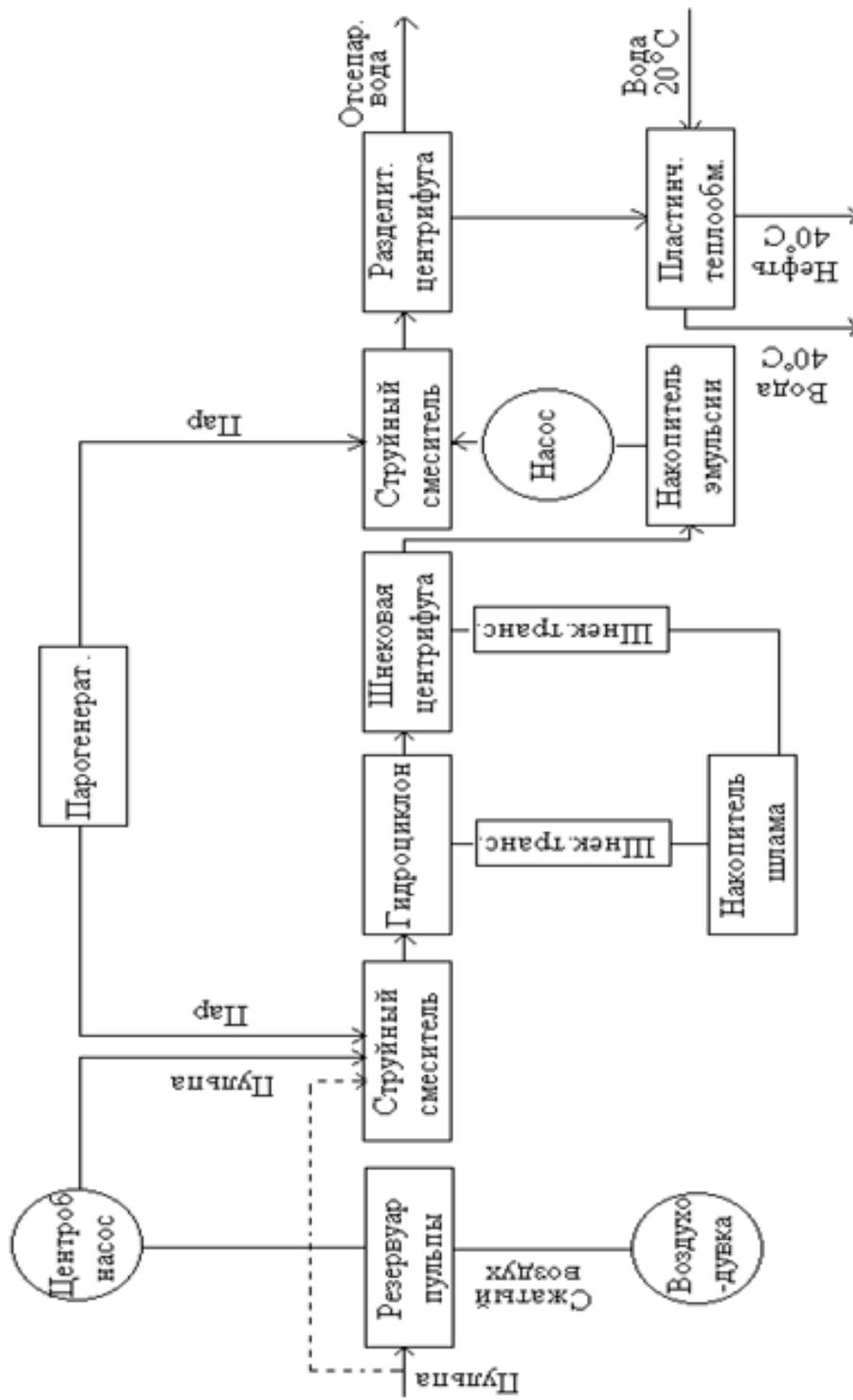


Рис. 2 - Технологическая схема очистки амбарной нефти и нефтешлама

Литература:

- 1 Патент № 10116 РК, МПК E02B 15/04. Способ сбора амбарной нефти и устройство для его осуществления / Ершин Ш.А., Жапбасбаев У.К., Айсаев С.У., Утегалиев С.А., Хаиров Г.Б. - Оpubл. 17.12.2002; Бюл. № 12.
- 2 Айсаев С.У., Ершин Ш.А., Жапбасбаев У.К. Об одном из способов сбора амбарной нефти // Тезисы докладов международной научно-технической конференций. - Актау, 1996. – С. 298 – 299.
- 3 Жапбасбаев У.К., Хаиров Г.Б. Теоретические основы термодинамического способа сбора амбарной нефти // Строительство нефтяных и газовых скважин. – М.: ВНИИОЭНГ, 1996. – № 5. - С. 47-51.
- 4 Айсаев С.У., Диярова Л.Д., Айсаева Т.С. Инженерный расчет сверхзвуковой насадки для разжижения амбарной нефти // Вестник АктГУ им.Ш.Есенова. – 2006. - № 4 (10). – С. 80-85.
- 5 Айсаев С.У., Жапбасбаев У.К. Установка по сбору амбарной нефти и переработки нефтешлама // Сборник научных проектов «Инновационный потенциал Мангистауской области». – Актау, 2005. – С. 33-45.
- 6 Жапбасбаев У.К., Войчак В.П., Айсаев С.У. Разработка технологии по получению из амбарной нефти и нефтешлама товарной продукции // Вестник КазНУ. Серия математика, механика. – 2004. - № 2 (41). – С. 80-89.