УДК 622.32

SWELT – ТЕХНОЛОГИЯ ВОЛНОВОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ ПО ТРУБОПРОВОДАМ

А.И. БАЖАЛ,
академик
Украинской нефтегазовой академии,
главный научный консультант

А.М. БАРАК*,
президент
GALEX Energy Corporation
Houston, USA

Galex Energy Corporation,
3033 Chimney Rock Road, Suite 605, Houston, TX, 77056, USA
info@galexenergy.com; www.galexenergy.com

SWELT – это технология волнового стимулирования, предназначенная для трубопроводной транспортировки вязких и ультравязких жидкостей и сыпучих сред. В результате воздействия на прокачиваемую среду волнами резко снижаются гидравлические сопротивления прокачки транспортируемой по трубопроводу среды, что обеспечивает решение комплекса проблем и препятствий. В частности, SWELT предлагает пользователям следующие решения и возможности:

увеличение количества транспортируемой по трубопроводам среды (нефть, пульпа и т. д.). Чем больше гидравлические потери при базовом варианте прокачки, тем больший эффект достигается при использовании технологии SWELT;

уменьшение давления прокачки при транспортировке вязких и сыпучих сред;

уменьшение частоты и количества подпорных станций на протяжении трубопровода;

уменьшение потребности прогрева трубопровода, в целях снижения вязкости транспортируемой жидкости.

Кроме того, SWELT обеспечивает дополнительное волновое усилие в сторону прокачки, что позволяет увеличить объем транспортируемой среды, либо снижает давление прокачки.

*Автор для переписки. E-mail: alex.barak5@gmail.com

SWELT не изменяет состав транспортируемой среды, является безопасной технологией для персонала, окружающей среды, оборудования.

Технология SWELT является собственностью GALEX Energy Corporation.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *SWELT, волновое стимулирование транспортировки нефти, транспортировка вязкой нефти трубопроводами, волновая транспортировка жидкостей, трубные волны, GALEX Energy Corporation.*

SWELT – ТҰТҚЫР СҰЙЫҚТЫҚТАРДЫ ЖӘНЕ СУСЫМАЛЫ СУБСТАНЦИЯЛАРДЫ ҚҰБЫР ЖЕЛІЛЕРІ АРҚЫЛЫ ТОЛҚЫНДЫ ТАСЫМАЛДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

А.И. БАЖАЛ, Украина мұнай-газ академиясының академигі, Бас Ғылыми Кеңесші
А.М. БАРАК*, президент, Galex Energy Corporation

Galex Energy Corporation,
3033 Chimney Rock Road, Suite 605, Houston, TX, 77056, USA,
info@galexenergy.com; www.galexenergy.com

SWELT – бұл тұтқыр және ультра тұтқыр сұйықтықтарды және сусымалы заттектерді құбыр желілері арқылы тасымалдауға арналған толқынды ынталандыру технологиясы.

Сорып алынатын заттекке толқындар арқылы әсер етудің нәтижесінде құбыр желісі арқылы тасымалданатын заттекті сорудың гидравликалық кедергісін айтарлықтай төмендетеді, бұл туындаған мәселелер мен кедергілер кешенін шешуге мүмкіндік береді.

Атап айтқанда, SWELT пайдаланушыларға келесі шешімдер мен мүмкіндіктерді ұсынады:

құбыр желісі арқылы тасымалданатын заттектің көлемін арттыру (мұнай, пульпа және т.б.). Заттекті тартудың негізгі нұсқасындағы гидравликалық шығындар неғұрлым көп болса, SWELT технологиясын қолданғанда бұл нәтиже соғұрлым көп болады;

тұтқыр және сусымалы заттектерді тасымалдау кезінде сору қысымын азайту;

құбыр желісінің бойында орналасқан тіреулік станциялардың жиілігін және санын қысқарту;

тасымалданатын сұйықтықтың тұтқырлығын азайту үшін құбырды жылыту қажеттілігін азайту.

Сонымен қатар, SWELT сорғы бағытында қосымша толқынның күшеюін қамтамасыз етеді, бұл тасымалданатын заттектің көлемін ұлғайтуға немесе сору қысымын төмендетуге мүмкіндік береді.

SWELT тасымалданатын заттектің құрамын өзгертпейді, қызметкерлерге, қоршаған орта мен жабдықтарға қауіп төндірмейтін технология болып табылады.

SWELT технологиясы GALEX Energy Corporation компаниясына тиесілі.

НЕГІЗГІ СӨЗДЕР: *SWELT, мұнайды тасымалдауды толқынды ынталандыру, тұтқыр мұнайды құбыр желісі арқылы тасымалдау, сұйықтықтарды толқынды тасымалдау, құбыр толқындары, GALEX Energy Corporation.*

SWELT – TECHNOLOGY OF WAVE TRANSPORTATION OF VISCOUS LIQUIDS THROUGH PIPELINES

A.I. БАЖАЛ, academician of the Ukrainian oil and gas Academy, chief scientific adviser
A.M. BARAK*, President, Galex Energy Corporation

Galex Energy Corporation,
3033 Chimney Rock Road, Suite 605, Houston, TX, 77056, USA,
info@galexenergy.com; www.galexenergy.com

SWELT – is a technology of wave enhanced pipeline transportation of viscous and ultra-viscous liquids and sandy pulps.

SWELT – is a technology of wave treatment of viscous and ultra-viscous liquids as well as sand pulps when they are transported via pipelines. Such wave treatment effectively reduces hydraulic resistance of the pumped through the pipeline substances, which resolves series of problems. In particular, SWELT provides the following resolutions and possibilities:

increase of volume of transported substances (oil, pulps, etc.). The greater the hydraulic resistance in the base case of pumping, the greater the effect achieved with SWELT treatment;

reduction of pumping pressure at the booster pump of the pipeline;

reduction of quantity of booster stations along the pipeline and increase of distances between the booster stations;

reduction in needs to heat the pipeline in purpose of reduction of viscosity of the transported liquid.

Besides, SWELT delivers additional pushing force in direction of pumping that provides for additional increase of the volume of transported fluid, or further reduction of pumping pressure.

SWELT does not change the composition of the transported substance. The technology is safe for personnel, environment and the equipment.

Technology SWELT is proprietary to GALEX Energy Corporation.

KEY WORDS: *SWELT, wave treatment of pipeline transported oil, wave enhanced transportation of liquids, pipe waves, Galex Energy Corporation.*

Технология SWELT предлагает пользователям следующие преимущества:

- ***улучшает количество транспортируемой по трубопроводам среды (нефть, пульпа и т. д.). Чем больше гидравлические потери при базовом варианте прокачки, тем больший эффект достигается при использовании технологии*** *SWELT;*
- ***уменьшение давления прокачки при транспортировке вязких сред;***
- ***уменьшение частоты и количества на протяжении трубопровода;***
- ***снижение вязкости транспортируемой жидкости.***

Транспортировка высоковязких нефтей трубопроводами всегда представляла собой проблему. Высоковязкая нефть, добываемая, зачастую, с применением термических методов и находящаяся в текучем состоянии, будучи разогретой, остывая, становится значительно более вязкой вплоть до нетекучести по мере потери тепла. Понятно, что прокачка такой нефти по трубопроводу требует больших затрат на подогрев труб и поддержание давления в трубопроводе. Эта проблема особенно актуальна в районах с арктическим и просто холодным климатом, где транспортировка такой нефти зимой особенно дорогостояща и требует больших дополнительных затрат на поддержание трубопроводов в рабочем состоянии, его текущего и оперативного ремонта.

Потребность транспортировки высоковязких нефтей в последнее время значительно возросла. В США, например, в связи с ростом добычи сверхлегкой сланцевой нефти, при том, что основные нефтеперерабатывающие заводы, расположенные в Техасе на берегу Мексиканского залива, остаются ориентированными на

нефть средних сортов, увеличивается потребность в тяжелой сернистой нефти для блэндирования (смешения) с легкой сланцевой нефтью и достижения требуемых нефтепереработчиками спецификаций. Коллапс нефтяной индустрии Венесуэлы, традиционно одного из крупнейших поставщиков тяжелой нефти, затяжные проблемы нефтеиндустрии Мексики, налагают дополнительные требования к увеличению добычи и поставкам тяжелой нефти из Канады, разработке непосредственно в США, преимущественно в Техасе, залежей тяжелой сернистой нефти, которыми долгое время пренебрегали, в том числе и из-за трудностей транспортировки. В Казахстане, России, других странах также возрастает потребность увеличения объемов добычи и транспортировки высоковязкой нефти, снижения себестоимости прокачки.

Galex Energy владеет технологией, эффективно решающей эти проблемы. Технология испытана и подтверждена транспортировкой не только высоковязких жидкостей, но даже песчаных пульп, и поэтому носит название – технология транспортировки вязких и сыпучих сред, хотя основной целью разработки технологии является транспортировка нефти, в том числе высоковязкой нефти, осложненной экстремально низкими температурами. Применение технологии SWELT позволяет увеличить объем прокачиваемой нефти, в особенности вязкой, в несколько раз при условии сохранения базового давления в трубопроводе. При постановке задачи снижения давления в трубопроводе, SWELT в состоянии кардинально уменьшить нагрузку на трубопровод и снизить затраты на эксплуатацию трубопровода.

Ниже изложены принципы работы технологии SWELT.

Транспортировка вязких и сыпучих сред происходит с применением технологии SWELT. Транспотритуемый материал через подводящий патрубок подгоняют на вход направляющей трубы, имеющей постоянный выход в транспортную магистраль. После заполнения транспортируемым материалом направляющей трубы с торцом волнового излучателя в ближней части трубы трубопровода начинает работать генератор волн и начинается волновое движение транспортируемого материала путем волнового нажатия этого материала торцом излучателя в направлении транспортирования. Торец излучателя сообщает транспортируемой среде упругие импульсы давления и последующего смещения в направлении скорости транспортирования. Под действием статического усилия прижатия торца излучателя с транспортируемым материалом, которое равно или больше импульсной силы в волне, являющейся движущей силой транспортируемой среды, материал перемещается в заданном направлении. После окончания цикла движения генератора волн в направлении транспортирования он возвращается в исходное положение и цикл повторяется.

При оптимальном соотношении длины волны и диаметра трубопровода волны в трубах, заполненных сплошными текучими средами, которые транспортируются, например, вязкой нефтью, практически не затухают. В сухом сыпучем материале, подвергаемом транспортированию, волны затухают более интенсивно – на длине до одного километра. При этом форме волны, которая излучается в транспортируемую среду в координатах давление–длина волны, придают форму в тех же координатах закона сопротивления среды движению вдоль трубопровода на каждом его участке, равном длине волны. Сила сопротивления изменяется вдоль пути транспортирования на каждом участке, равном длине волны, вследствие нагружения этого участка

в период прохождения волны. Таким доплнительным нагружением является скорость волнового движения среды, которая суммируется со скоростью движения, обусловленной статическим перепадом давления на участке транспортирования в трубопроводе. Поэтому, для поддержания постоянного перепада давления на участке транспортируемой среды, охваченном волной, выбирают форму волнового импульса, соответствующей закону сопротивления среды в трубопроводе в виде – **F=KV2,** где

F – *сила сопротивления движению транспортируемой среды по трубопроводу;*

V = V1 + V2 – *суммарная скорость движения среды на участке, охваченном волной;*

V1 – *скорость постоянного движения;*

V2 – *скорость волнового движения;*

К – *постоянная величина для данной среды.*

Таким образом, форма волны для рассматриваемых случаев должна представлять собой квадратичную параболу.

При такой форме волны перепад давления, приложенный к участку транспортируемой среды, равному длине волны, будет постоянным. Этим будет обеспечиваться максимальное использование энергии на каждом участке транспортирования. В этом случае создается запас амплитуды волны на затухание вдоль участка транспортирования.

При равенстве запаса амплитуды волны нулю волновое смещение также будет равно нулю и в этом случае волны перестанут принимать участие в массопереносе транспортируемой среды и их роль сведется только к снижению сил трения и повышению скорости транспортирования только за счет этого.

Если закон нагружения волной участка транспортируемой среды не отвечает закону сопротивления движению, то материал на длине волны может ускоряться, а в конце этого участка, равного длине волны, замедляться, на что непродуктивно будет использоваться энергия волн. При распространении волны в транспортируемом материале он будет разделяться на тяжелую и вязкую (уплотненную) центральную часть, которая окружена кольцом более текучей среды (менее густой и менее вязкой), которая размещена на переферии транспортируемого потока по контакту транспортируемой среды со стенками трубопровода. При этом более текучая среда может сливаться отдельно в конце транспортируемого потока, а уплотненная центральная часть может сбрасываться отдельно в другую емкость. Причем, как установлено экспериментально, волновое транспортирование (разделение) транспортируемой среды связано с отношением длины волны к диаметру: чем больше длина волны, тем эффективнее процесс разделения транспортируемой среды на уплотненную центральную часть и окружающую ее более жидкую и более текучую оболочку.

С длиной волны связана и дальность транспортирования – чем больше длина волны, тем больше дальность ее затухания и эффективность транспортирования.

Для обеспечения транспортирования текучих материалов на участках трубопроводов вертикально вверх или под углом вверх амплитуду давления волны выбирают такой, что она равняется не менее трем величинам давления, что обеспечивает вертикальную составляющую усилия на столб транспортируемой среды с высотой равной длине волны, а частоту выбирают из условия **f*T = 0,8–1,0,** где

f – *частота волновых импульсов;*

T – *длительность отдельного волнового импульса.*

Это условие обеспечивает такую плотность волновых импульсов, повторяющихся один за другим, при которой транспортируемая среда после смещения ее на высоту **h** проходящим волновым импульсом успеет опуститься вниз до подхода следующего волнового импульса не более **0,8 h**.

Транспортировку нефти обеспечивают из условия минимальных потерь энергии волны, которая распространяется по всей среде. Для этого транспортируемый материал поворачивают строго по траектории плоской волны в трубопроводе вдоль двух пересекающихся лучей, которые образует угол отражения α, который равен углу отражения волны в трубопроводе. При величине угла падения, не превышающего **30°**, обеспечивается полное преломление энергии волны в заданном направлении. Если угол выше **30°**, появится волна отражения, несущая энергию волны в обратном направлении. Для того, чтобы при повороте потока обеспечивалось преломление всей энергии волны, длину поворотного колена выполняют большей или равной длине волны.

Соблюдением перечисленных принципов обеспечивают и многоразовое подведение энергии к транспортируемой среде на всей длине транспортирования на всей длине трубопровода, если эта длина такая, что транспортирование не обеспечивает один генератор волн. В этом случае волны излучаются под углом падения волны, равным или меньшим **30°** к оси транспортного трубопровода.

Таким образом, технология транспортировки использует два физических принципа движения жидких и сыпучих сред по трубопроводу. Во-первых, это кардинальное снижение гидравлического сопротивления в зоне соприкосновения транспортируемой среды с внутренней поверхностью трубопровода. Транспортируемая среда, в нашем случае вязкая или даже сверхвязкая нефть, движется по трубопроводу как бы в виде поршня, периферийная поверхность которого, непосредственно соприкасаемая с трубопроводом по его внутренней стенке, представлена в виде слоя легкой фракции нефти, является лубрикантом, минимизируюшим гидравлические сопротивления движения нефти по трубопроводу. Во-вторых, это непосредственно волновое транспортирование, при котором конфигурация импульсной волны выбирается таким образом, чтобы создавать суммарное поступательное усилие в направлении траспортирования. Данное особенно важно при пересечении высокоальтитудных местностей, таких как горные перевалы.

При правильном расчете длины, амплитуды и конфигурации волны, частоты волновых импульсов, воздействие сохраняется практически при любой длине линейного участка трубопровода. Затухание трубных волн происходит очень медленно. В идеальном случае, на расстоянии, от источника параметры волны будут практически неизменными генерируемым. Принципиальная схема расположения SWELT на линейном участке трубопровода показана на *рисунке*.

В реальных условиях необходимо отталкиваться от специфики фактических условий расположения трубопровода, его параметров, спецификаций прокачиваемой нефти, и проектировать расположение волновых генераторов и параметры генерируемых волн из расчета достижения максимального экономического эффекта. При

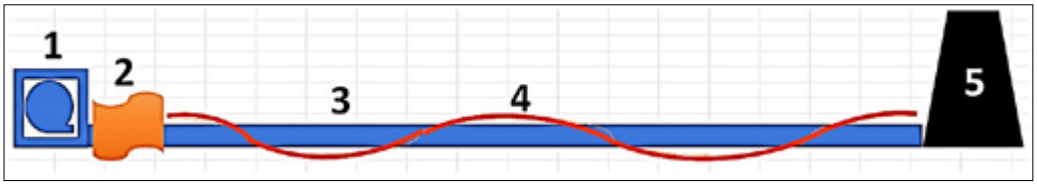

Рисунок – **Принципиальная схема расположения SWELT на линейном участке трубопровода**
1 – станция; – 2 – SWELT – волновой генератор; 3 – трубопровод;
4 – генерируемая волна; 5 – приемный резервуар
(SWELT поставляется в виде отрезка трубы длиной 1,2 м, оборудованным генератором в сборе. Потребность в электроэнергии 1,2 kWt)

работе с действующими трубопроводами, SWELT генераторы целесообразно устанавливать непосредственно в начале каждого линейного участка после подпорных станций или угловых пересечений препятствий, если установка байпасов в обход таких угловых пересечений не представляется возможной.

Эффект волнового воздействия при транспортировке вязких жидкостей и сыпучих сред увеличивается с увеличением длины линейных участков. Наличие на активированном волновым воздействием участке трубопровода подпорных станций и угловых пересечений нивелирует результат волновой активации и снижает эффективность транспортировки. Как отмечалось выше, затухание трубных волн при отсутствии резких поворотов трубопровода или перемены его сечения очень медленное. Если такие препятствия имеются, то их целесообразно обойти байпасами, увеличив максимально длину линейного участка. В проекте применения SWELT будут представлены конкретные рекомендации по модификации трубопровода в целях достижения максимального экономического эффекта.

GALEX, в лице специализированной компании, предоставляет сервисные услуги по транспортировке нефти на согласованных условиях. GALEX гарантирует достижение эффекта с применением технологии SWELT транспортировки в параметрах, определенных проектом волновой транспортировки. Проект транспортировки разрабатывается на основании технического задания, и договора, содержащих технические спецификации нефтепровода, базовых условий транспортировки нефти, обязательства сторон.