

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) = Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина (междисциплинарный). - 2017. - №3 (94). - С.71-77

Оценка полноты освобождения внутренней полости нефтепровода при откачке нефти перед производством ремонтных работ

*Ю.А. Краус, А.В. Грузин,
М.О. Мызников, В.В. Грузин.*

Аннотация

Перед проведением ремонта магистрального трубопровода инженерными службами по нормативам осуществляется расчет объемов и времени на освобождение участка от углеводородов. На практике ремонтными службами установлено превышение расчетных данных над полученными результатами при выполнении данных видов работ.

Для установления причин несоответствия рассмотрены особенности технологических решений опорожнения трубопроводов от нефтепродуктов, выполнено моделирование нарушения сплошности нефтяного потока и осуществлена оценка его откачки с использованием пакета ANSYS. С учетом показателей динамики этого процесса разработаны рекомендации по откачке нефтепродуктов.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, ремонтный участок, откачка нефтепродуктов, нормативная методика расчета, объем и время освобождения участка от нефти, моделирование, нарушение сплошности нефтяного потока

Введение

Неотъемлемой частью процесса эксплуатации магистральных нефтепроводов (МН) является поддержание их работоспособного состояния, которое обеспечивается своевременным проведением текущего и капитального ремонтов. Так как отдельные виды ремонтных работ требуют разгерметизации МН, то возникает необходимость освобождения его внутренней полости ремонтируемого участка от нефти. Применяемая технология освобождения участков МН от нефти перед проведением ремонтных работ представлена в нормативных документах ПАО «Транснефть» [1], которая предусматривает на освобождаемом участке инженерные решения (вантузы и технологические отверстия), обеспечивающие приток воздуха. Расчёт объёмов и времени

освобождения участка МН выполняются в соответствии с положениями руководящего документа [2].

Наиболее быстрое и полное освобождение участка производится при помощи комбинированной технологии откачки с применением инертной газовой смеси (ИГС) и поршня разделителя на границе системы «нефть – ИГС». Однако, в настоящее время оборудование для производства и использования ИГС не получило достаточно широкого распространения на объектах транспорта нефти, вследствие чего

в подавляющем большинстве случаев откачка ведётся при помощи передвижных насосных установок (ПНУ).

Основными критериями совершенствования технологий ремонта или заменяемого участка при опорожнении МП являются: сокращение времени освобождения и объёмы откачиваемой нефти. Одной из проблем планирования подобных ремонтных работ является несоответствие объёмов и времени освобождения, рассчитанных в соответствии с нормативной методикой [2], реальным значениям.

Особенности методики оценки освобождения участка МН от нефтепродуктов

Опыт проведения работ по освобождению участков МН от нефти на примере трубопроводов АО «Транснефть–Западная Сибирь» показывает, что иногда погрешность в расчетных данных превышает на 20–30% результаты, полученные в реальных условиях.

Причин несоответствия можно выделить несколько:

- невозможность обеспечения требуемого по методике количества вантузов и технологических отверстий на каждой локальной вершине участка при проведении работ по освобождению;

- пренебрежение давлением насыщенных паров и его зависимостью от соотношения паровой и жидкой фаз;

- несовершенством нормативной методики расчёта.

В процессе прокладки МН в какой-то мере копирует рельеф земной поверхности. При этом на отдельных его участках образуются

своеобразные «карманы», в нижних точках которых может оставаться нефть, и «локальные перевальные точки» – вершины, за которыми происходит разрыв нефтяного потока.

В методике расчёта [2] протяженность участков, подлежащих освобождению от нефти (участков, свободных от нефти по результатам освобождения), определяется графоаналитическим методом на сжатом профиле. При этом, через вершины, соответствующие «локальным перевальным точкам», проводятся горизонтали до пересечения с нисходящим участком профиля. То есть предполагается, что давление с обоих концов отсечённого объёма нефти равно атмосферному, а это справедливо, только в случае, когда на каждой из вершин,

ограничивающих отсечённый участок с нефтью, установлен вантуз или просверлено технологическое отверстие.

Кроме этого, следует особо отметить, что вантузом оборудована далеко не каждая вершина, а установка временного вантуза или сверление технологического отверстия приводят к появлению местной концентрации напряжений. Указанные факторы локально снижают несущую способность секции трубопровода, что существенно влияет на ее эксплуатационную надежность. Всё выше перечисленное приводит к расхождению нормативной методики расчёта и результатов, получаемых в реальной ситуации.

При расчётах следует выделить два случая:

1) перепад высот по освобождаемому участку больше давления насыщенных паров нефти, пересчитанного на высоту столба нефти h_s ;

2) перепад высот по освобождаемому участку меньше давления насыщенных паров нефти, пересчитанного на высоту столба нефти h_s .

Давление насыщенных паров нефти при расчётной температуре будет вакуумметрическим [3], а в пересчёте на высоту столба нефти определится как

$$h_s = \frac{P_a - P_s}{\rho \times g}, \quad (1)$$

где P_a – атмосферное давление в конечной точке линии отбора, Па;

P_s – давление насыщенных паров нефти, Па;

ρ – плотность нефти, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Давление насыщенных паров нефти, в данном случае с достаточной для инженерных расчётов точностью, описывается формулой Н.И. Тихонова [3]:

$$P_s = P_{s38} \times \left(\frac{14}{10 + \frac{V_{II}}{V_{Ж}}} \right)^{0,31} \times 10^{4,0283 \cdot \frac{1252}{T}}, \quad (2)$$

где P_{s38} – давление паров нефти, определённое по методу Рейда (избыточное давление при температуре 37,8 °С и соотношении фаз 4:1), Па;

V_{II} – объём паровой фазы, м³;

$V_{Ж}$ – объём жидкой фазы, м³;

T – абсолютная температура,

К.

В первом случае при откачке в области «локальной перевальной точки» происходит разрыв потока и образуется вакуум, который несколько снижается за счёт образования насыщенного пара. С учётом вакуумметрического давления с одной стороны и атмосферного давления с другой стороны, а также с учётом расчётной плотности, температуры и соотношения объёмов фаз, высота превышения одного конца «отсечённого объёма» над другим может составить от 7 до 12 м [4].

В зависимости от порядка открытия вантузов (сверления технологических отверстий) в первом расчётном случае можно сократить объём откачиваемой нефти или увеличить полноту

освобождения, как показано в работе [4]. Случаи изменения объёмов в зависимости от порядка «подключения» участков к атмосфере показаны на рисунке 1.

В процессе окончания освобождения МТ от нефти, во избежание сохранения вакуума все вантузы открывают. При этом, следует учитывать, что в результате правильно выбранной последовательности их открытия откачанный объём можно уменьшить без ущерба для выполнения ремонтных работ.

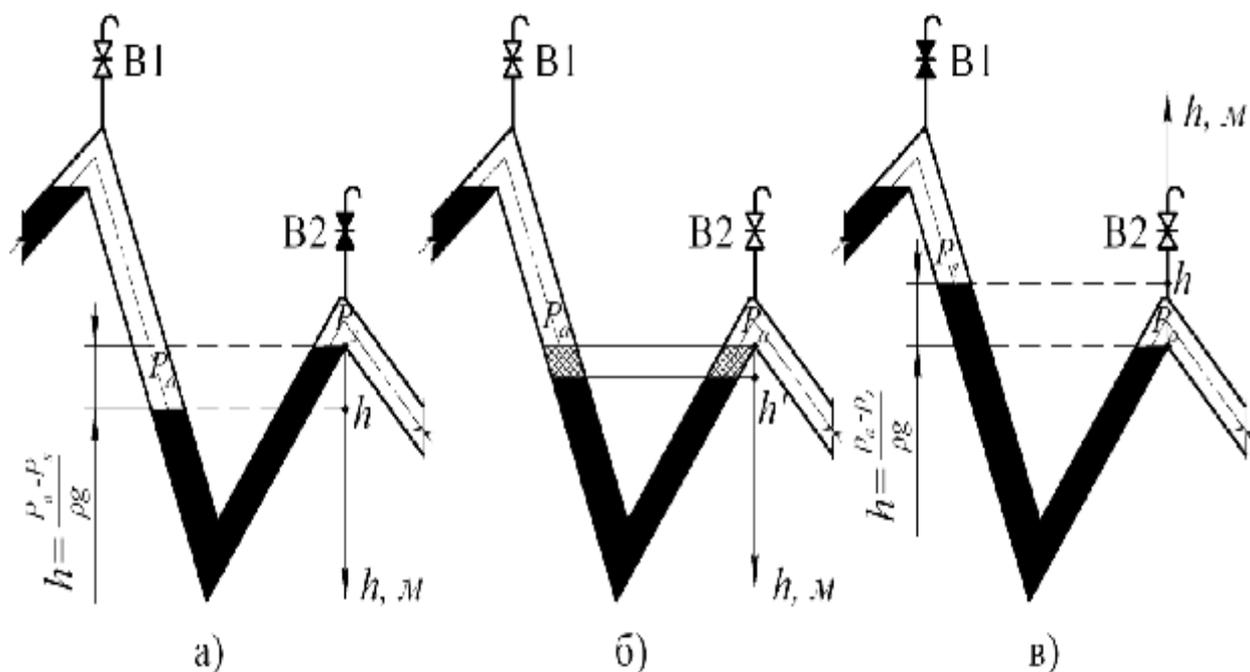
Так на рисунке 1-б показана разница объёмов при открытии вантузов по схеме на рисунках 1-а и 1-в с последующим открытием имеющихся вантузов для предотвращения содержания вакуума во внутренней полости МН.

Следует отметить, что чем меньше угол наклона трубопровода к горизонту, тем больший объём

нефти может быть вытеснен за «локальную перевальную точку» или удержан в его «кармане».

В условиях равнинной местности, где перепад высот составляет от 1,5 до 7 м, а это в целом меньше величины h_s , вся нефть из ремонтируемого участка может быть и не вытеснена столбом воздуха в область с пониженным давлением, где имеется подключение подпорного насоса (ПНУ).

Во втором расчётном случае механизм нарушения сплошности нефтяного потока иной, так как в области «локальной перевальной точки» за счёт подсосывания воздуха через свободную поверхность, на которую оказывает давление столб воздуха, происходит образование газового пузыря.



а) – столб воздуха, действующий на поверхность нефти через вантуз В1, вытесняет дополнительный объём нефти из «кармана» за «локальную перевальную точку»; б) – возможные уровни нефти в «кармане» при своевременном открытии вантуза В2 (отсечении нефти в «кармане») или открытии вантузов в конце освобождения; в) – столб воздуха, действующий на поверхность через вантуз В2, удерживает дополнительный объём нефти в «кармане»

Рисунок 1 Влияние порядка открытия вантузов на объём откачиваемой нефти

Р

ассмотрим более подробно этапы развития процесса нарушения сплошности потока во втором расчётном случае, смоделировав течение нефти с использованием пакета ANSYS. В качестве исходных данных моделирования принимаем: производительность откачки поддерживается постоянной, наружный диаметр трубопровода 720 мм, толщина стенки 8 мм, плотность нефти 850 кг/м^3 , кинематический коэффициент вязкости равен 9,5 сСт.

Кроме этого, дополнительным условием моделирования процесса нарушения сплошности нефтяного потока является его представление в виде последовательности следующих этапов:

1-й этап: граница раздела фаз «воздух–нефть» опускается до уровня верхней образующей нижней локальной точки участка МН (см. рисунок 2), при этом:
 – нефть поступает за перевальную точку с производительностью откачки;

– дальнейшее вытеснение нефти воздухом становится затруднительным из-за отсутствия жёсткой границы и существенной разницы в плотностях жидкости и газа;

– давление на «локальной перевальной точке», а затем и в объёме вытесняемой нефти на восходящем участке понижается и становится вакуумметрическим, так как за перевальной точкой продолжается откачка, в то время как поток на восходящем участке разрежение (см. рисунок 3 - в);

3-й этап: первые пузыри воздуха достигают «локальной перевальной точки» (см. рисунок 4-а), расход воздуха на восходящем участке увеличивается, при этом поступающий воздух начинает скапливаться в верхней точке (см. рисунок 4 - б), а расход нефти, поступающей за «локальную перевальную точку» (см. рисунок 4 - в), уменьшается.

Далее постепенно повышается давление в области «локальной

ввиду действия сил тяжести и отсутствия подпора замедляется;

2-й этап: для компенсации образующегося вакуума, ввиду невозможности воздействия воздушного столба на столб нефти через эволюционирующую свободную поверхность, на восходящий участок начинает поступать воздух (см. рисунок 3), при этом расход нефти, поступающей за «локальную перевальную точку» уменьшается и растёт

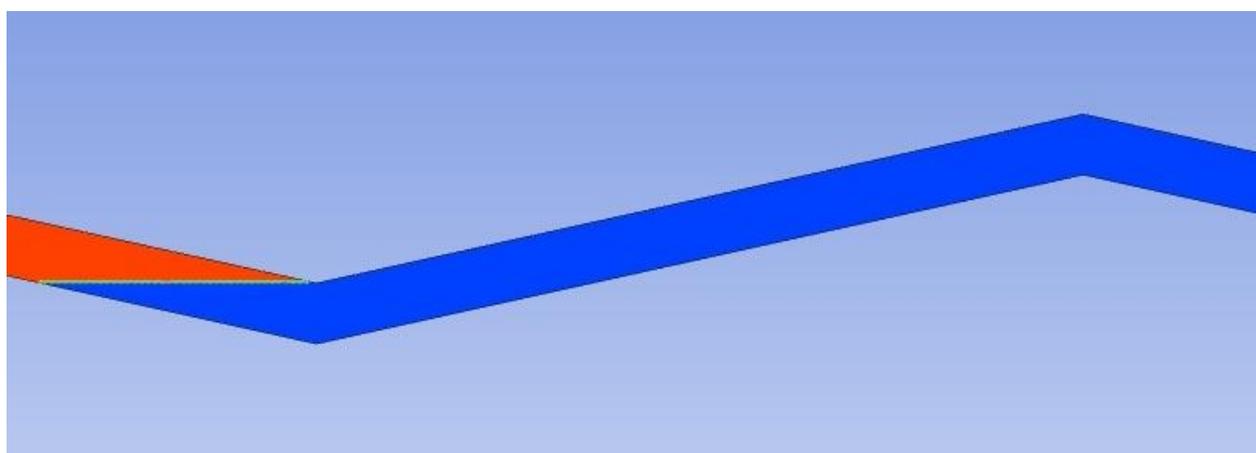


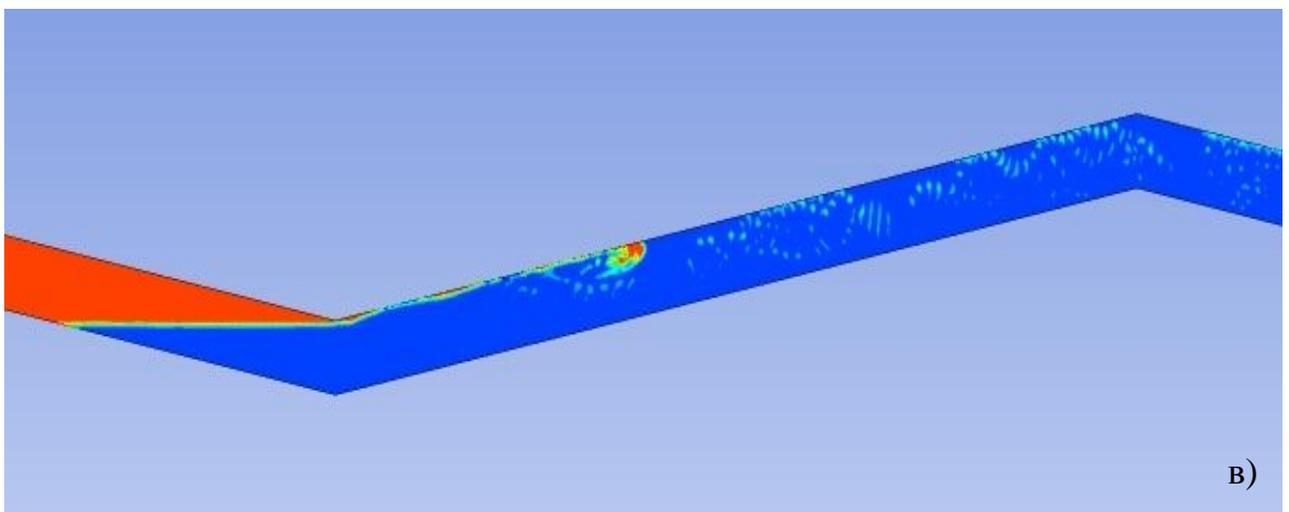
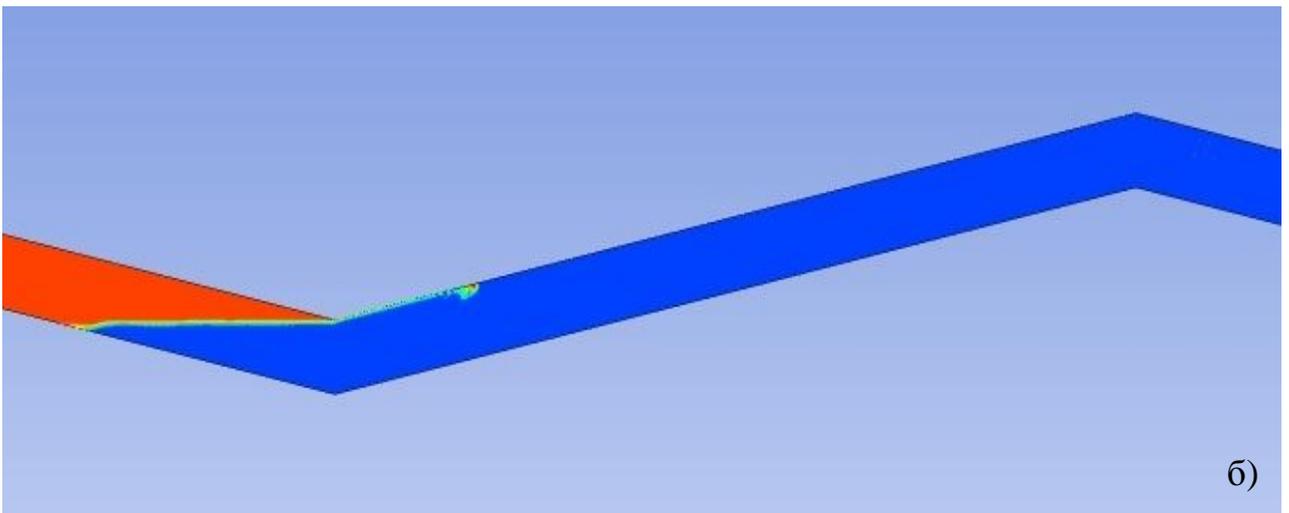
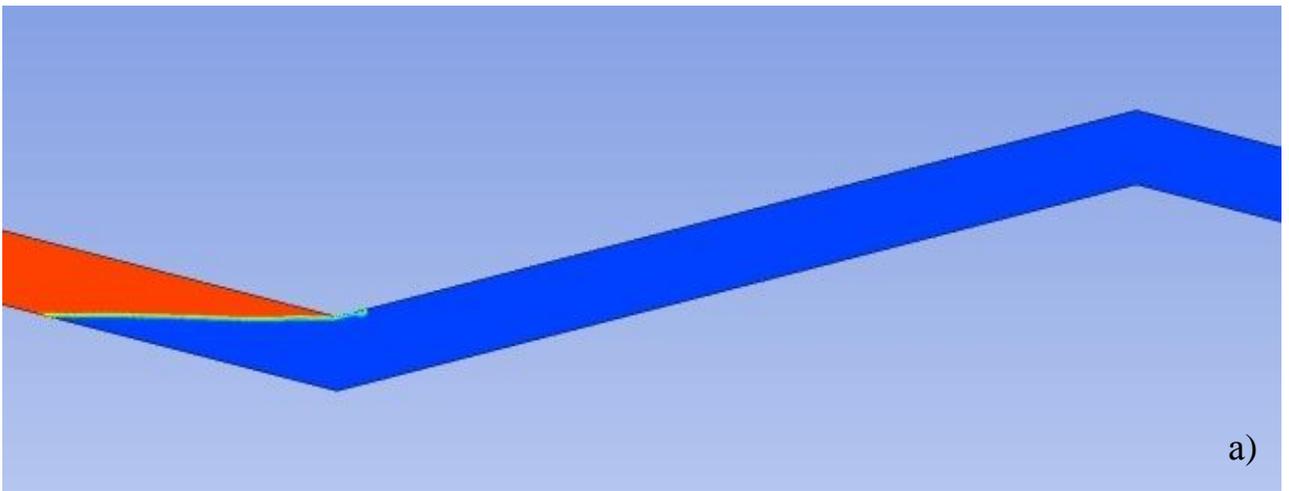
Рисунок 2 Граница раздела фаз «воздух-нефть» в низшей локальной точке участка МН (t=0 с): красный – участок, заполненный воздухом, синий – участок, заполненный нефтью

перевальной точки» и когда начинает выполняться условие:

$$P_p \geq P_a - \rho \times g \times D_z, \quad (3)$$

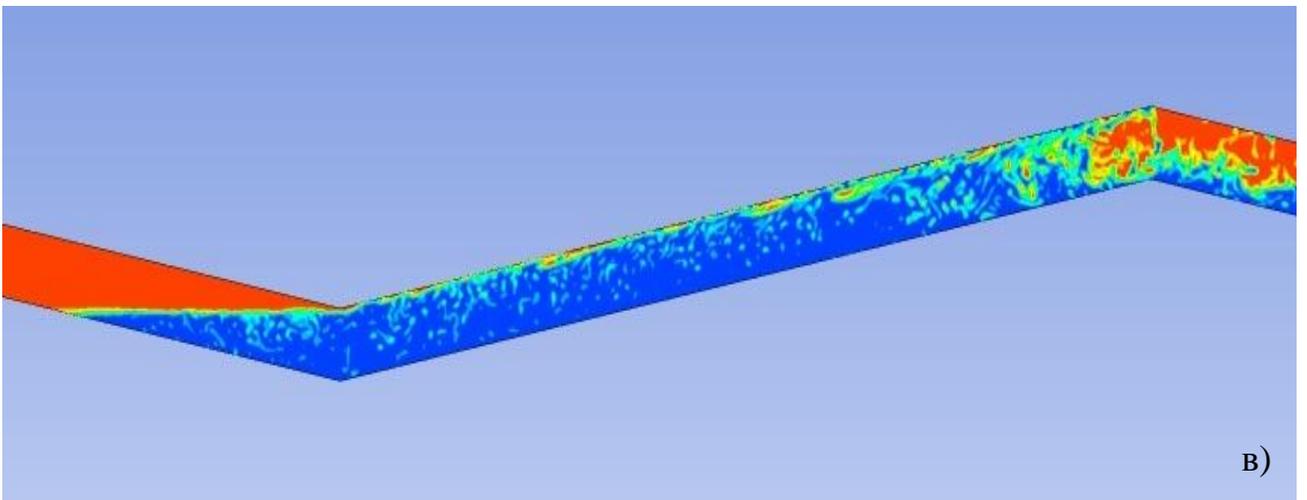
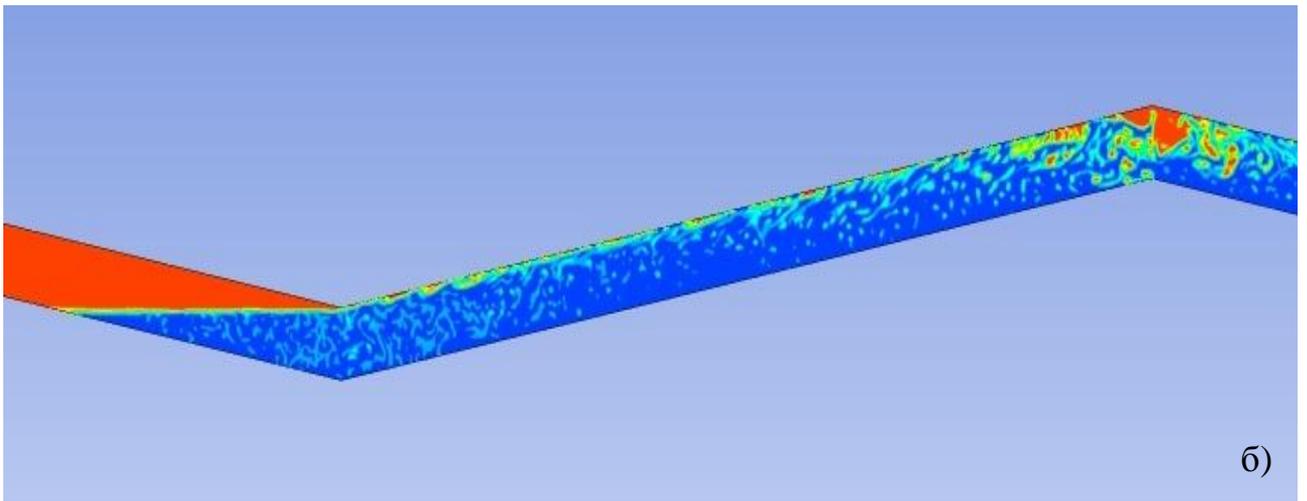
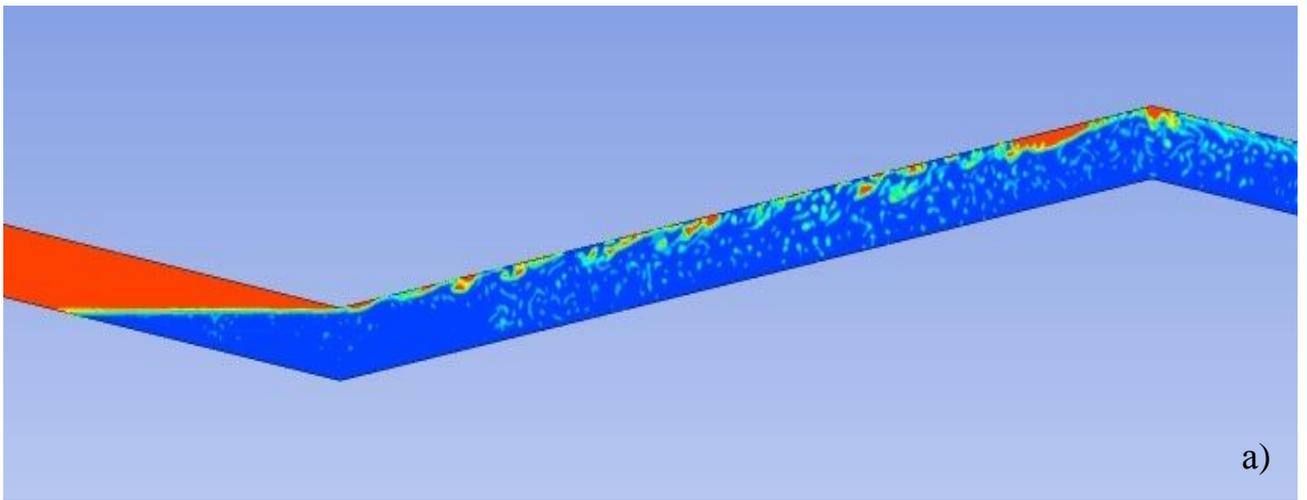
где D_z – перепад высот между «локальной перевальной точкой» и локальным минимумом, м,

В этом случае нефть перестаёт поступать за «локальную перевальную точку» и столб нефти начинает опускаться вниз (см. рисунок 5)



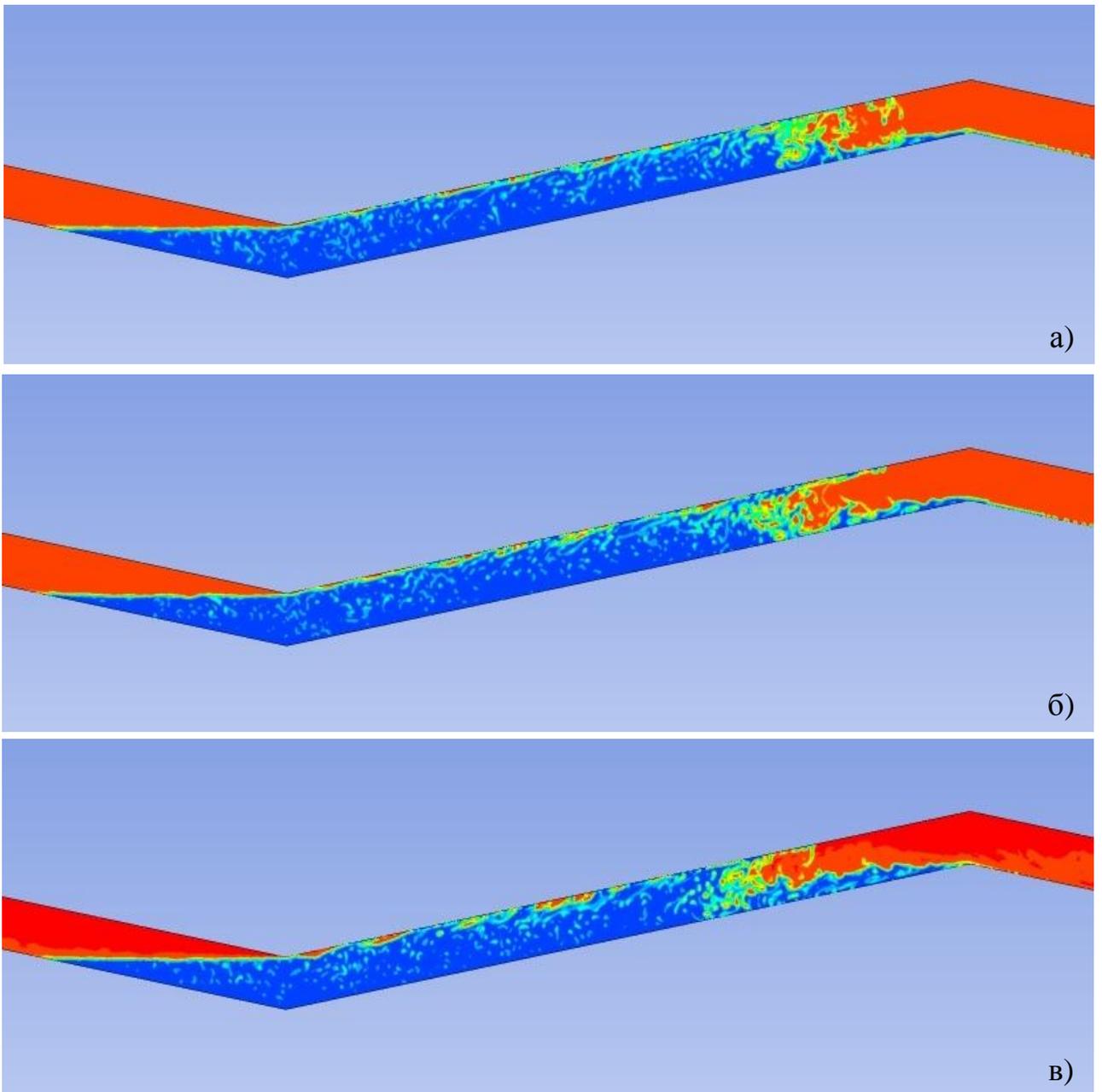
а) $t=1$ с; б) $t=3$ с; в) $t=5$ с

Рисунок 3 Процесс «захвата» воздуха с течением времени на границе «воздух–нефть» и его продвижение на восходящем участке МН



а) $t=8$ с; б) $t=10$ с; в) $t=15$ с

Рисунок 4 Формирование с течением времени паровоздушной пробки в области «локальной перевальной точки» участка МН



а) $t=30$ с; б) $t=40$ с; в) $t=50$ с

Рисунок 5 Формирование «отсечённого объёма» нефти на участке МН

На четвертом этапе (см. рисунок 5) соотношение изменения перепада давлений и сокращение протяжённости заполненного нефтью участка, через который проходят порции воздуха, таково, что расход газа увеличивается вплоть до полной остановки перетечки нефти.

Следует отметить, что во втором расчётном случае рассмотренный с помощью

моделирования процесс протекает за промежуток времени, равный 30–60 с, и при этом объём нефти, оставшейся в «кармане», будет более чем в два раза меньше, рассчитанного в соответствии с положениями руководящего документа [2].

Кроме того, как и в первом расчётном случае, процесс освобождения участка ремонтируемого МН, может

регулироваться посредством определения порядка открытия

вантузов (сверления технологических отверстий).

Выводы

1) Выполненными исследованиями установлено, что применяемая в настоящее время методика расчета объемов и времени освобождения от нефти и нефтепродуктов участков магистральных нефтепроводов для проведения плановых ремонтных работ не учитывает весь перечень особенностей разрыва сплошности потока, которые проявляются при откачке нефти.

2) При сильно пересечённой местности, когда перепады высот больше значения величины h_s , то определение объёмов может определяться решением гидростатической задачи с учётом разности давлений на концах отсечённых объёмов нефти с

учётом возможности доступа воздуха к внутренней полости МН.

3) При относительно пологой местности процесс будет сильно зависеть не только от углов наклона и перепада высот по трассе, но и от показателей динамики процесса:

- скачки давления и пульсации будут способствовать большему освобождению нефтепродуктов из внутренней полости ремонтируемого участка МН;

- уменьшение расхода откачки и плавное изменение давления будут способствовать «удержанию» нефти в освобождаемом участке МН.

Список литературы

1. РД-75.180.00-КТН-399-09. Технология освобождения нефтепроводов от нефти и заполнения после окончания ремонтных работ. – М.: ВНИИСТ, 2009. – 89 с.

2. РД-75.180.00-КТН-155-14. Методика расчета объемов и времени освобождения от нефти и нефтепродуктов участков магистральных нефтепроводов для проведения плановых работ. – М.: ВНИИСТ, 2014. – 44 с.

3. Михайлов Д.А. Анализ результатов исследований и нормативной базы по эксплуатации магистральных трубопроводов с перевальными точками / Д.А. Михайлов, А.А. Гольянов, А.И. Гольянов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012, № 3. С.64-71.

4. Сокращение объёмов откачиваемой нефти и времени освобождения нефтепровода за счёт изменения порядка открытия вантузов / Краус Ю.А., Мызников М.О., Кропотин П.О. // Омский научный вестник. – 2014, № 1(127). С. 102–106.