

О критических замечаниях по статье «Моделирование аварийных утечек на магистральных нефтепроводах»



С.И. Сумской,
канд. техн. наук, ст.
преподаватель

НИЯУ МИФИ



А.А. Агапов,
канд. техн. наук, директор по
информационным технологиям



А.С. Софьин,
канд. техн. наук,
зав. отделом

ЗАО НТЦ ПБ



А.М. Сверчков,
мл. науч.
сотрудник



А.Ф. Егоров,
д-р техн. наук, проф.,
зав. кафедрой

РХТУ им. Д.И. Менделеева

Приведены аргументированные ответы на критические замечания, изложенные в рецензии на статью «Моделирование аварийных утечек на магистральных нефтепроводах», опубликованную в № 9 за 2014 г.

The Article presents the reasoned answers to the critical comments stated in the review on the article «Modeling of Emergency Leaks on the Main Oil Pipelines» published in No. 9 for the year 2014.

Ключевые слова: ТОХИ+Гидроудар, магистральные нефтепроводы, гидравлический удар, аварийные утечки.

Тему моделирования нестационарных переходных процессов на трубопроводах, в том числе в ходе аварий, неоднократно обсуждали в печати [1–6]. В основе работ всегда лежало моделирование именно нестационарного течения в трубопроводе.

Представленная В.Н. Антипьевым, Е.В. Налобинной, И.Н. Налобинным рецензия содержит критику статьи [7]. Авторы рецензии подкрепляют замечания расчетами и делают вывод о непригодности современных методов решения дифференциальных уравнений гидродинамики для моделирования явления гидравлического удара в магистральных нефтепроводах, а равно и программы ТОХИ+Гидроудар, в основе математической модели которой заложены указанные методы. Авторы благодарят за подробное рассмотрение их работы, но считают необходимым изложить свои соображения критического характера в отношении представленной рецензии.

Замечание, с которым отчасти можно согласиться

«...В названии статьи упоминается моделирование, но в тексте не дано описание математической модели: не приведены исходные дифференциальные уравнения...»

Статья [7] посвящена анонсу нового программного продукта ТОХИ+Гидроудар для моделирования

нестационарных гидродинамических процессов в трубопроводе и определения массы утечек жидкости при его разгерметизации, а не описанию использованной в программе математической модели (которая была опубликована ранее [5], в статье [7] есть на эту работу ссылка). В настоящее время эта математическая модель вошла как приложение в Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов» (утв. приказом Ростехнадзора от 7 ноября 2014 г. № 500).

Замечания, с которыми нельзя согласиться

Это все замечания, касающиеся сопоставления результатов расчетов, представленных в статье [7] и в рецензии.

Поскольку в статье [7] основное внимание уделено описанию возможностей новой программы ТОХИ+Гидроудар, то в ней не приводили формализованных исходных данных по рассматриваемым задачам. Авторы рецензии сами подтверждают этот факт: «...выполненный рецензентами анализ основан исключительно на графическом материале...». Уважаемые рецензенты могли бы обратиться к авторам статьи за полным набором исходных данных

по исследуемым задачам, но, к сожалению, этого не сделали и в результате провели сравнение результатов несопоставимых задач.

Приведем основные несоответствия исходных данных задач, рассматриваемых в статье [7] и в рецензии.

1. «...В статье основное внимание уделено явлению гидравлического удара, который возникает при внезапном закрытии задвижки в конце трубопровода...»

В приведенных в статье [7] примерах нигде не говорится о внезапном закрытии задвижки, напротив, рассмотрен случай, когда задвижка закрывается в течение 12 с, что соответствует практике функционирования технологических и магистральных трубопроводов, и показано, что даже в этом случае происходит эффект возникновения волны давления, распространяющейся по всей длине трубопровода.

2. «Анализ начнем с кривых... которые соответствуют времени... до момента срабатывания задвижки... следовательно, они справедливы для стационарного (штатного) режима перекачки нефти...»

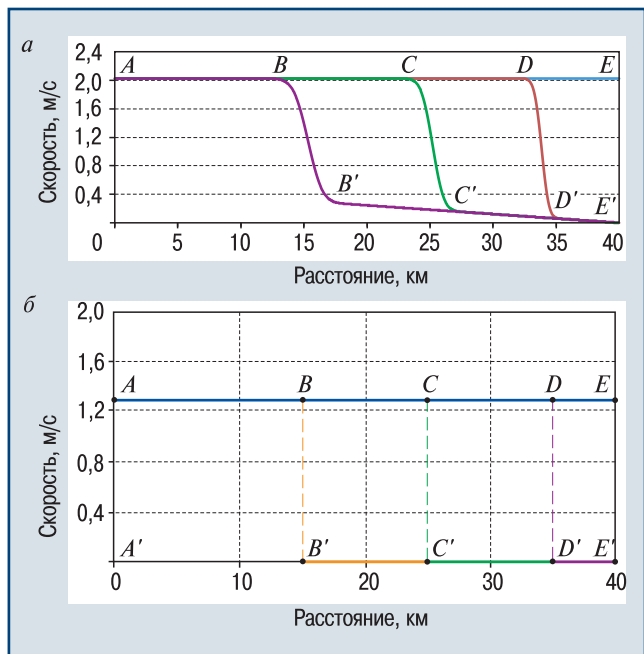
Это умозаключение неверно, поскольку в статье [7] рассмотрен пример срабатывания задвижки как раз для случая еще неустановившегося режима перекачки (в соответствии с расчетами, к моменту закрытия задвижки — 60 с — течение нефти не успевает выйти на стационарный режим), о чем прямо указано в подрисуночной подписи рис. 3 [7, с. 52]. Поэтому все дальнейшие рассуждения авторов рецензии о противоречии кривых закону физики, включающие описание явления гидравлического удара с точки зрения теории великого русского физика Н.Е. Жуковского, не имеют отношения к статье [7].

3. Для исключения возможных последующих разночтений авторы статьи [7] провели расчеты по исходным данным из рецензии с использованием программы ТОХИ+Гидроудар.

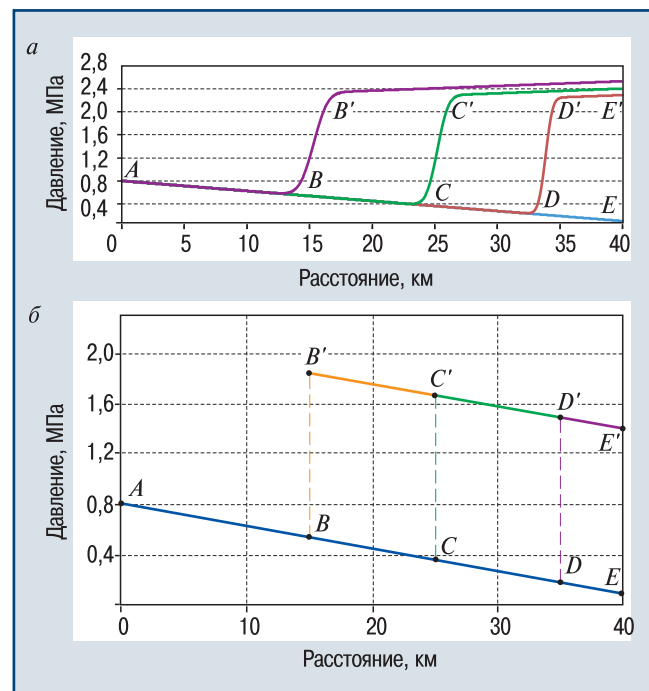
Исходные данные

Рассматривается течение нефти (плотность 840 кг/м³; скорость звука в жидкости 1240 м/с; вязкость жидкости 1·10⁻⁵ Па·с) в стальном трубопроводе (внутренний диаметр 1 м; длина 40 км; толщина стенки 0,08 м; начальная точка трубопровода расположена на высоте 40 м, конечная — 0 м; шероховатость внутренней поверхности трубопровода 3·10⁻⁴ м, давление в начале трубопровода 0,8 МПа, в конце — 0,1 МПа). Нефть поступает в начало трубопровода из бесконечной емкости. В конце трубопровода располагается задвижка, которая закрывается мгновенно через 60 с после установления стационарного режима течения нефти в трубопроводе.

На рис. 1 и 2 показаны результаты расчетов параметров течения нефти по трубопроводу в различные моменты времени (59,99 с (стационарный режим) — линия AE; 65,01 с — линия ADD'E'; 72 с — линия ACC'E'; 80 с — линия ABB'E'), полученные с использованием программы ТОХИ+Гидроудар и представленные авторами рецензии. Как следует из сравнения приведенных зависимостей:



▲ Рис. 1. Распределение скорости потока нефти по длине трубопровода в различные моменты времени относительно времени срабатывания запорной арматуры: а — расчеты выполнены с использованием программы ТОХИ+Гидроудар; б — расчеты выполнены авторами рецензии



▲ Рис. 2. Распределение давления нефти по длине трубопровода в различные моменты времени относительно времени срабатывания запорной арматуры: а, б — то же, что на рис. 1

давление вдоль трассы трубопровода для стационарного режима течения на приведенных графиках одинаково (линии AE на рис. 2);

скорость течения нефти вдоль трассы трубопровода для стационарного режима практически постоянная (линии AE на рис. 1). В расчете, выполненном

в программе ТОХИ+Гидроудар, скорость составила около 2 м/с (вычисление приведено ниже), а в расчете из рецензии — 1,3 м/с. Из текста рецензии не ясно, каким образом был определен данный параметр. Можно предположить, что ее авторы приняли как исходное данное значение скорости потока в начале трубопровода, приведенное на рис. 4, б в статье [7, с. 52], рассчитанное для нестационарного режима течения нефти, что является грубой ошибкой;

формы фронта волны, распространяющейся от закрытой задвижки, отличаются. В рецензии наблюдается скачкообразное изменение давления, в расчетах, выполненных с помощью программы ТОХИ+Гидроудар, фронт несколько «размазан», что обусловлено спецификой разностных методов — наличием диссипативных членов в разностных схемах. Следует сразу оговориться, что данное «размазывание» легко устраняется путем использования более точных разностных схем. Не углубляясь в специфику этих улучшений, можно констатировать, что возможен расчет ударной волны с ее «размазыванием» лишь на одну разностную ячейку, т.е. практически точно;

положения фронта ударной волны различаются. Например, согласно рис. 1, б и 2, б фронт DD' находится точно на отметке 35 км, а на самом деле за 5 с фронт успевает отойти от закрытой задвижки на большее расстояние, что хорошо видно из результатов расчетов, выполненных в программе ТОХИ+Гидроудар, представленных на рис. 1, а и 2, а. Другой пример: интервалы времени между графиками DD' и CC' , CC' и BB' (см. рис. 1, а и 2, а) не равны, они составляют 7 и 8 с соответственно, однако согласно рис. 1, б и 2, б ударная волна за эти разные временные интервалы проходит одинаковое расстояние. Это не верно. За разные временные интервалы ударная волна проходит разное расстояние, что подтверждается и расчетами в программе ТОХИ+Гидроудар (см. рис. 1, а и 2, а). Таким образом, программа ТОХИ+Гидроудар гораздо точнее рассчитывает движение фронта ударной волны, чем модель, предложенная в рецензии;

формы графиков давления и скорости для нестационарного течения после закрытия задвижки (гидроудара) отличаются. При этом имеется качественное рассогласование в приведенных данных по профилям давления и скорости.

Рассмотрим последнее подробнее.

Согласно одному из основных положений теории трубопроводов, в трубе постоянного диаметра градиент давления создает стационарный поток [8]:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} + (z_1 - z_2) = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g},$$

где p_1, p_2 — давление соответственно в начале и в конце участка трубопровода, Па; ρ — плотность жидкости в трубопроводе, кг/м^3 ; g — ускорение свободного падения, м/с^2 ; $z_1 - z_2$ — разница высот начала

и конца участка трубопровода, м; λ — коэффициент гидравлического сопротивления; L — длина участка трубопровода, м; d — диаметр трубопровода, м; v — скорость течения жидкости в трубопроводе в стационарном режиме, м/с.

Например, в рассматриваемой задаче градиент 0,7 МПа/40 км обеспечивает движение со скоростью чуть более 2 м/с:

$$v = \sqrt{2g \left[\frac{p_1 - p_2}{\rho g} + (z_1 - z_2) \right]} / \left(\lambda \frac{L}{d} \right) =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{(0,8 - 0,1) \cdot 10^6}{840 \cdot 9,81} + 40 \right)}{0,015 \frac{40 \cdot 10^3}{1}}} = 2,02 \text{ м/с.}$$

В рецензии такой же градиент для стационарного потока обеспечивает скорость 1,3 м/с, и хотя это количественно неправильный результат, качественно так: есть стационарный градиент давления — есть постоянная скорость движения в направлении спада давления. А вот в дальнейшем модель из рецензии начинает противоречить вышеприведенной формуле. Из рис. 2, б следует, что градиент давления в потоке после торможения в волне гидроудара равен исходному градиенту давления (наклоны линий $BCDE$ и $B'C'D'E'$ совпадают). Но скорость на линии $B'C'D'E'$ равна нулю, т.е. согласно гидродинамической модели рецензии одному и тому же стационарному градиенту давления в трубопроводе соответствует два режима движения среды: транспортирования с ненулевой скоростью и покоя. Последнее — состояние покоя в условиях действия ненулевой силы — фактически нарушение первого закона Ньютона, который гласит, что тело покоится (или движется с постоянной скоростью) при нулевой сумме всех действующих на него сил. Таким образом, предложенная модель выходит за рамки механики и примыкает скорее к аристотелевской физике. Как известно, Аристотель, в отличие от Ньютона, полагал, что, для того чтобы тело покоилось (или двигалось с постоянной скоростью), на него должна действовать сила. Именно подобная ситуация и изображена на рис. 1, б и 2, б. Нелогичность полученных результатов становится еще более очевидной, если вспомнить, что трубопровод в состоянии $B'C'D'E'$ проходит под наклоном, т.е. началу соответствует высотная отметка 40 м, а концу — 0 м. Учитывая это, согласно модели в рецензии получается следующий результат: в покоящемся столбе нефти давление с высотой растет. Или проиллюстрируем этот вывод еще более выразительным примером: согласно рецензии давление на дне моря меньше, чем у его поверхности.

Модель, заложенная в программный комплекс ТОХИ+Гидроудар [5], находится в строгом согласии с законом Ньютона, который автоматически учитывается в законе сохранения импульса. Как видно из

рис. 2, а, градиент давления после прохождения волны гидроудара становится положительным: давление растет от волны к задвижке. При этом градиенте нефть постепенно останавливается, т.е. ее скорость уменьшается от некоторого положительного значения на фронте волны до нуля на задвижке, что находится в полном соответствии с законом Ньютона.

Нарушение первого закона Ньютона приводит к полному искажению картины опасности последствий гидроудара. Действительно, согласно рецензии:

скачок давления в ударной волне при гидроударе остается постоянным по мере движения (см. рис. 2, б). Что неверно. На самом деле амплитуда волны падает (см. рис. 2, а), поскольку поток по мере отхода от задвижки тормозится в волне не до нуля, как ошибочно полагают рецензенты;

после прохождения ударной волны давление в данной точке трубопровода остается неизменным (см. рис. 2, б). В действительности давление за фронтом после прохождения ударной волны нарастает (см. рис. 2, а), что обусловлено постепенным торможением нефти, не полностью остановленной прошедшей волной.

Получается, что два важнейших фактора, определяющих последствия гидроудара, — единовременный скачкообразный рост давления и последующее его изменение — модель из рецензии описывает с точностью до наоборот. В результате построенная по модели из рецензии зависимость максимально достигаемого по трассе давления будет совпадать с линией $B'C'D'E'$, с учетом ее продления к началу трассы (см. рис. 2, б), т.е. наибольшее давление достигается на более близких к началу трубопровода расстояниях. На самом деле, как видно из рис. 2, а, высоких значений давление в рассматриваемой постановке будет достигать на больших удалениях от начала, максимальное — у закрытой заслонки, что объясняется наибольшей плотностью среды на этом участке трассы, ведь именно здесь происходит полное торможение нефти. Таким образом, даже простейшая задача решается методом, описанным в рецензии, в очень огрубленном виде, а результаты даже на качественном уровне не описывают реальное течение.

Нельзя не отметить еще несколько недостатков приведенной в рецензии модели:

не учитывает потери на трение. Этот недостаток неоднократно на протяжении многих лет отмечался в отзывах на работы авторов рецензии [6, 9];

слишком сильно идеализирует процесс развития гидроудара в части времени срабатывания задвижек. Модель исходит из мгновенного отсечения потока, что никогда не реализуется на практике. По сути авторами использовалось чрезвычайно жесткое, консервативное и нереалистичное допущение;

не является полностью законченной. Использование данной модели в том виде, как она изложена в рецензии, ограничивается моментом времени отхода волны к началу трубопровода. Что потом про-

исходит с трубопроводом, будет ли где-либо по его трассе еще какое-нибудь повышение давления — предсказать, исходя из рецензии, затруднительно.

Необходимо подчеркнуть, что критика математической модели, представленной в рецензии, не относится к теории гидроудара, разработанной Н.Е. Жуковским. И хотя формулы (1)–(3), приведенные в рецензии, были заимствованы из этой теории, то, как их применяют авторы рецензии, вызывает возражение. Выше уже было показано, что авторы рецензии некорректно оценили скорость потока в трубе после прохождения гидроудара. Другая особенность расчетов в рецензии — ошибочное использование формулы (2) рецензии за пределами фронта ударной волны, где эта формула не работает.

Проведенные авторами статьи [7] вычисления по зависимости (2) рецензии и сопоставление с результатами предыдущих расчетов, выполненных с помощью программного комплекса ТОХИ+Гидроудар, показали, что во фронте ударной волны значения избыточного давления, полученные по этим моделям, хорошо согласуются. Действительно, сопоставим избыточное давление во фронте волны через 20 с после гидроудара (фиолетовая кривая на рис. 2, а) с основной формулой теории Н.Е. Жуковского. Скорость фронта волны оценим графически, принимая во внимание, что за 20 с волна прошла 24,4 км, а скорость потока жидкости за фронтом волны давления через 20 с после гидроудара составит 0,3 м/с (см. рис. 1, а). Таким образом, скачок давления при гидроударе

$$\Delta P_{\text{г.у}} = \Delta v \rho_0 C_{\text{ф.в}} = (2,02 - 0,3) \cdot 840 \cdot 24 \cdot 400 / 20 = 1,76 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

где $\Delta P_{\text{г.у}}$ — скачкообразное превышение давления, обусловленное гидравлическим ударом, Па; Δv — разность скорости течения жидкости до и после прихода ударной волны, м/с; ρ_0 — плотность нефти при штатном режиме эксплуатации, кг/м³; $C_{\text{ф.в}}$ — скорость распространения фронта ударной волны по трубопроводу, м/с.

В соответствии с расчетами в программе ТОХИ+Гидроудар разница между давлением в ударной волне и давлением при стационарном течении через 20 с после гидроудара составляет $2,3 - 0,5 = 1,8$ МПа (фиолетовая кривая на рис. 2, а). Сравнение расчетов повышения давления при гидроударе по формуле Н.Е. Жуковского и в программе ТОХИ+Гидроудар представлено ниже.

Время, с	65,01	72	80
Δv , м/с	1,92	1,82	1,72
$\Delta P_{\text{г.у}}$, МПа:			
по формуле Н.Е. Жуковского	1,97	1,87	1,76
в программе ТОХИ+Гидроудар	2,00	1,85	1,80
Относительное отклонение			
избыточного давления, %	1,01	1,08	2,25

Аналогичные расчеты проведены для различных моментов времени. Наибольшее относительное от-

клонение избыточного давления составило 2,25 %, что свидетельствует об отсутствии противоречий математической модели [5], реализованной в программе ТОХИ+Гидроудар, и теории знаменитого русского физика.

4. Заключительная часть рецензии посвящена критике ошибочного, с точки зрения рецензентов, результата расчетов массы вытекшей в результате разгерметизации трубопровода нефти; указан процент ошибки — 2000 %.

Приведенные в статье [7] типовые экранные снимки предназначены для демонстрации возможностей программы. Это не пример решения конкретной модельной задачи, как преподносят авторы рецензии. В частности, на рис. 5 и 6 статьи [7, с. 52, 53] продемонстрированы возможности задания размеров аварийных отверстий разгерметизации и их расположение для расчета утечек из трубопровода, а также результаты этих расчетов. Данные рисунки не имеют никакого отношения к исходным данным на рис. 1 статьи [7, с. 51], что следует из текста перед рис. 5 статьи [7, с. 52] и мест расположения аварийных утечек, указанных на рис. 5–6 статьи [7, с. 52, 53]. Таким образом, приведенное в рецензии сопоставление результатов расчетов для разных задач и определение ошибки полученных результатов абсолютно неправомерны.

Однако требует более детального пояснения используемый в рецензии метод расчета массы вылившейся нефти. В частности, рассмотрим следующий тезис рецензентов: «...второе предельное состояние характеризуется тем, что истечение полностью прекратится и система придет в гидростатическое состояние... Следует отметить, что во втором предельном состоянии весь нефтепровод длиной 40 км будет заполнен нефтью». Так, несложно оценить, что при возникновении аварийного отверстия разгерметизации на расстоянии 100 м от начала трубопровода в самой нижней точке его сечения, над отверстием разгерметизации будет располагаться около 66 т нефти. Неужели в этом случае система находится в гидростатическом равновесии?

Ниже приведены исходные данные гипотетической задачи по оценке объема утечек нефти из статьи [7]. Рецензенты могут провести свои расчеты и сопоставления. Готовы обсудить полученные результаты.

Исходные данные к задаче определения массы утечек нефти в напорном режиме, результаты моделирования которой представлены на рис. 6 в статье [7, с. 53]

Рассматривается течение нефти (плотность 840 кг/м³, скорость звука в жидкости 1300 м/с, вязкость жидкости 1·10⁻⁵ Па·с) в трубопроводе (внутренний диаметр 0,49 м, длина 1 км, шероховатость внутренней поверхности 5·10⁻⁵ м, рельеф прямолинейный, высота начальной точки трубопровода 0 м, конечной — 50 м, давление в начале трубопровода 30 МПа, в конце — 0,1 МПа). Нефть поступает в начало трубопровода из бесконечной емкости. В конце трубопровода происходит

слив нефти при атмосферном давлении. Выполняли моделирование различных аварийных ситуаций (отверстия площадью 1·10⁻⁴; 1·10⁻³ и 1·10⁻² м², расположенные на расстоянии от 100 до 900 м от начала трубопровода с шагом 100 м) продолжительностью 1800 с. Разгерметизация трубопровода происходит при стационарном режиме транспортирования. Для определения массы утечек нефти использовали задачу с абстрактными исходными данными, показывающими возможность и неограниченность применения заложенной в программный продукт ТОХИ+Гидроудар математической модели для широкого диапазона значений исходных данных.

Наконец, еще одно замечание, с которым категорически нельзя согласиться, — утверждение о невозможности описать явления гидродинамического удара, используя дифференциальные уравнения. Собственно, численные методы решения системы дифференциальных уравнений гидродинамики, в том числе для моделирования ударно-волновых процессов, включая распад разрыва, уже лет 50–60 преподаются в университетах во всем мире. Более того, на основе этих методов разработаны всемирно известные и широко применяемые на практике программные комплексы, позволяющие моделировать нестационарные процессы в сплошных средах, такие как ANSYS Fluent (США), LS-Dyna (США), FLACS (Норвегия), PipeTech (Великобритания) и др.

Выводы

Подавляющее число замечаний, представленных в рецензии, основаны на неправильной интерпретации материалов статьи [7] и несправедливы. Математический аппарат, заложенный в программу ТОХИ+Гидроудар, базируется на апробированных и опубликованных подходах.

Список литературы

1. Оценка риска аварий на магистральных нефтепроводах КТК-Р И БТС/ Ю.А. Дадонов, М.В. Лисанов, А.И. Гражданкин и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2002. — № 6. — С. 2–6.
2. Анализ риска аварий на магистральном трубопроводе, транспортирующем широкую фракцию легких углеводородов/ С.И. Сумской, А.В. Пчельников, Е.Л. Шанина и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2007. — № 2. — С. 48–52.
3. Оценка риска аварий на магистральном аммиакопроводе «Тольятти — Одесса»/ Ю.А. Дадонов, Д.В. Дегтярев, И.А. Кручинина и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2003. — № 10. — С. 27–30.
4. Анализ риска аварий на нефтепроводных системах БТС и МН «Дружба»/ М.В. Лисанов, А.И. Гражданкин, А.В. Пчельников и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2006. — № 1. — С. 34–40.
5. Моделирование переходных и аварийных процессов в магистральных нефтепроводах с помощью метода С.К. Годунова/ С.А. Губин, Т.В. Губина, С.И. Сумской, М.В. Лисанов// Безопасность труда в промышленности. — 2013. — № 10. — С. 66–71.

6. Сумской С.И., Лисанов М.В. О корректности расчетных моделей аварийных разливов нефти и нефтепродуктов// Проблемы анализа риска. — Т. 5. — 2008. — № 2. — С. 36–41.

7. Моделирование аварийных утечек на магистральных нефтепроводах/ С.И. Сумской, А.А. Агапов, А.С. Софьин и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 9. — С. 50–53.

8. Лурье М.В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа: учеб. пособие для вузов. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. — 349 с.

9. Лисанов М.В., Сумской С.И. Отзыв на статью В.Н. Антипьева «Анализ некоторых результатов расчетов последствий аварийных выбросов опасных веществ»// Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 3. — С. 77–82.

inform@safety.ru

Материал поступил в редакцию 8 июня 2015 г.

Редакция попросила прокомментировать вопросы, затронутые в двух вышеприведенных статьях, профессора Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина заслуженного деятеля науки Российской Федерации, д-ра техн. наук М.В. Лурье. Вот, что он отметил.

Задача об утечке слабо сжимаемой жидкости через сквозное отверстие в поверхности трубопровода в общем случае должна решаться на основе обобщенной теории переходных процессов в трубопроводе. Этот подход требует решать известные дифференциальные уравнения (уравнения Н.Е. Жуковского — И.А. Чарного) на участках трубопровода с сечениями, полностью заполненными жидкостью, где давление выше упругости насыщенных паров жидкости, и уравнения безнапорного течения (уравне-

ния Сен-Венана) на самотечных участках, т.е. участках, на которых течение происходит неполным сечением, а давление равно упругости насыщенных паров транспортируемой жидкости. Причем в местах сопряжения, заранее неизвестных и подлежащих определению в процессе расчета, необходимо «склеивать» решения на базе законов сохранения массы и импульса жидкости. Такая теория в известной степени разработана¹ и в принципе позволяет считать любые утечки, как малые, так и большие, включая гильотинный

разрыв трубы. Возможно множество вариантов, зависящих от того, когда отключаются перекачивающие станции, когда и где закрываются задвижки, когда закрываются обратные клапаны на нефтеперекачивающих станциях и др. Но есть и относительно простые случаи, хотя и они осложнены возникновением в трубопроводе пустот и самотечных участков. Было бы полезным провести сравнительный анализ результатов расчетов по модели, используемой в рецензируемой статье, для упомянутых выше случаев.

¹ Лурье М.В., Полянская Л.В. Об опасном источнике волн гидравлического удара в рельефных нефте- и нефтепродуктопроводах// Нефтяное хозяйство. — 2000. — № 8; Лурье М.В. Метод расчета переходных процессов в нефтепроводах с возможным образованием и исчезновением парогазовых полостей// Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. — 2011. — № 4.

СЕРИЯ 03. ВЫПУСК 80



ПРАВИЛА ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТАХ И РАЗМЕЩЕНИИ ГРУЗОВ

Правила по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов устанавливают государственные нормативные требования охраны труда при выполнении погрузочно-разгрузочных работ и размещении грузов.

Правила обязательны для исполнения работодателями, осуществляющими погрузочно-разгрузочные работы и размещение грузов, за исключением работодателей — физических лиц, не являющихся индивидуальными предпринимателями.

Правила вступили в силу 01.07.2015.

ЭТУ КНИГУ И ДРУГИЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ МОЖНО ПРИОБРЕСТИ ПО АДРЕСУ:

Москва, Переведеновский пер., д. 13, стр. 21, а также заказать в отделе распространения по тел/факсам: **(495) 620-4753** (многоканальный), **620-4747, 620-4746**. E-mail: ornd@safety.ru.

Реклама