

А. В. Домостроев, А. А. Демьянов, О. В. Клим, Д. А. Юдченко.

Сравнительные исследования поточных вибрационных вискозиметров нефти. Измерительная техника, 2013. №6. С.62-65.

В настоящее время одной из первоочередных задач метрологического обеспечения нефтяной отрасли промышленности является разработка методов поверки и калибровки поточных преобразователей количества и качества нефти на месте их эксплуатации. Методы поверки и калибровки, предусматривающие демонтаж преобразователей из трубопровода и доставку в испытательные лаборатории к специализированным стендам в подавляющем большинстве значительно дороже по причине дополнительных затрат на вывоз и обратную доставку, а также необходимости иметь в наличии резервный преобразователь для обеспечения измерения параметра на время демонтажа основного. Кроме этого, данные методы имеют существенные недостатки, связанные с тем, что поверка и калибровка на испытательных стендах часто проводится с применением жидкостей-иммитаторов, а не на реальной рабочей среде, что может в некоторых случаях приводить к возникновению неучтенной систематической погрешности показаний. Для поточных преобразователей расхода данная проблема решается еще на стадии проектирования комплектованием систем измерения количества и качества нефти (СИКН) стационарным эталонным оборудованием в виде трубопоршневых установок или компактурверов, позволяющих проводить поверку и калибровку непосредственно на рабочей среде без демонтажа преобразователей и остановки процесса. Для метрологического обеспечения поточных плотномеров нефти применяются переносные пикнометрические установки - рабочие эталоны 1-го разряда, также позволяющие проводить поверку и калибровку (в одной точке измерений) без демонтажа плотномера из линии и остановки процесса измерений. Из применяющихся на сегодняшний день поточных анализаторов качества нефти поточные вискозиметры менее всего обеспечены достоверными методами поверки и калибровки. В первую очередь это связано с наличием существенного недостатка всех существующих методик передачи единицы вязкости от Государственного первичного эталона вязкости (ГПЭ) ГЭТ17 по поверочной схеме к рабочим поточным вискозиметрам нефти. Недостаток заключается в том, что воспроизведение, хранение единицы вязкости на ГПЭ, а также передача от ГПЭ по поверочной схеме ГОСТ 8.025 к рабочим вискозиметрам нефти осуществляется с применением ньютоновских жидкостей. В дальнейшем рабочие вискозиметры применяются для измерений вязкости нефти, которая по своим свойствам ньютоновской жидкостью не является.

В абсолютном большинстве в качестве поточных вискозиметров нефти применяются вибрационные вискозиметры камертонного типа, измеряющие динамическую вязкость. В 90-х годах 20-го века была попытка применять вискозиметры с падающим шариком производства Японии. Вискозиметры с падающим шариком измеряют кинематическую вязкость, менее надежны в эксплуатации по причине наличия в конструкции движущихся частей и, как следствие подвержены механическому износу, чувствительны к наличию вибраций и требуют строгой ориентации положения измерительной трубки по отношению к горизонтали.

Первой попыткой метрологически обеспечить поточные вискозиметры нефти стала поставка в СССР лабораторных эталонных установок для поверки и калибровки поточных вискозиметров с падающим шариком производства фирмы JWS, Япония. Метод поверки (калибровки) заключался в перекачке жидкости-компаратора через поверяемый (калибруемый) и эталонный вискозиметр при одинаковых значениях давления и температуры. В качестве эталонного вискозиметра применялся подобный вискозиметр с падающим шариком, но имеющий не один, а два детектора положения шарика (верхний и

нижний), чем обеспечивалась меньшая погрешность результатов измерений. При калибровке рабочего вискозиметра использовались три жидкости-компаратора с номинальными значениями вязкости из нижней трети, середины и верхней трети диапазона измерений рабочего вискозиметра.

Три аналога японской установки с шариковым вискозиметром японского производства в качестве эталонного СИ до сих пор эксплуатируются в лаборатории Омского РНУ ОАО "Транссибнефть", а также в Татарстане и Краснодарском крае. На данных установках поверяются и калибруются уже не шариковые вискозиметры, а вискозиметры вибрационного принципа действия. К сожалению вискозиметры с падающим шариком фирмы JWS уже длительное время сняты с производства, запасных частей не поставляется, поэтому установки на их основе обречены на вывод из эксплуатации по причине механического износа эталонных СИ.

В 2008 году была предпринята попытка применить в качестве эталонного прибора в составе стенда для поверки/калибровки вибрационных вискозиметров вискозиметра аналогичного принципа действия. Для этой цели на фирме-изготовителе, в то время еще называвшейся «Solartron Mobrey Limited», Великобритания из партии преобразователей вязкости модели 7829 были отобраны два преобразователя с наилучшими метрологическими характеристиками. В дальнейшем преобразователи были исследованы в рамках испытаний с целью утверждения типа в лаборатории госэталонов плотности и вязкости ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева". В результате испытаний в лабораторных условиях преобразователи подтвердили заявленную приведенную погрешность в 0,5% для диапазона вязкости (10-100) мПа·с. Преобразователи были заявлены на испытания как Цифровые вискозиметры Solartron 7829 Master - рабочие эталоны 2-го разряда в соответствии с поверочной схемой ГОСТ 8.025. На основе данных цифровых вискозиметров Solartron 7829 Master были созданы и сертифицированы две поверочные установки. Но запас по точности эталонных вискозиметров 7829 Master (0,5%) по отношению к рабочим преобразователям 7829 (1%) явно недостаточен. В данный момент одна из установок находится в г. Ярославль в испытательной лаборатории ОАО "Транснефть", вторая в г. Москва в испытательной лаборатории ООО "ИМС Индастриз". Обе установки имеют стационарное исполнение, реализуют метод перекачки жидкости при одинаковых условиях через поверяемый и эталонный вискозиметр и в качестве жидкостей-иммитаторов применяют ньютоновские жидкости. Хотя ввод в эксплуатацию двух описываемых установок и явился безусловным шагом вперед в области метрологического обеспечения поточных преобразователей вязкости, проблему отсутствия методов поверки/калибровки на месте эксплуатации он никак не решил. Рабочие преобразователи вязкости по-прежнему необходимо демонтировать и отправлять в лабораторию для проведения поверки.

С целью решения проблемы поверки/калибровки рабочих преобразователей вязкости на месте эксплуатации в ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" был разработан эскизный проект мобильной поверочной установки. Установка предназначена для подключения непосредственно к трубопроводам блока измерения качества нефти (БИК) к фитингам для подключения пикнометрической установки. Метод поверки, реализуемый на мобильной установке, заключается в перекачивании нефти из БИК через рабочий и эталонный вискозиметры при одинаковых значениях давления и температуры. Основным препятствием для внедрения установки явилось отсутствие на отечественном рынке сертифицированных средств измерений поточного вискозиметра, который можно было бы применять в качестве эталонного в составе поверочной установки. Необходимый запас по точности имел только шариковый вискозиметр фирмы JWS с двумя детекторами, но он не мог быть использован для комплектации мобильной установки по причине жестких требований к ориентации в пространстве измерительной трубки и к тому же снят с

производства. Изначально выбор был остановлен на преобразователе вязкости модели 7829 Master.

В течение 2012 г. в ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" были исследованы 6 преобразователей вязкости модели 7829 Master теперь уже производства фирмы "Mobrey Ltd", Великобритания. Заявленные производителем характеристики (относительная приведенная погрешность 0,5%) данные приборы смогли подтвердить только после проведения перекалибровки и для условий лаборатории. Чтобы выяснить насколько будут стабильны метрологические характеристики этих приборов в условиях их эксплуатации в качестве эталонных вискозиметров составе поверочных установок необходимо проведение дополнительных исследований. Какие либо выводы можно будет сделать через год, при поступлении 7829 Master на периодическую поверку.

Осенью 2012 г. в ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" для проведения исследований был предоставлена новая модификация поточного вискозиметра XL7, производства фирмы Hydramotion, Великобритания. Производителем была заявлена сходимос ть результатов измерений вязкости на уровне 0,1 % (для сведения - 0,1 % уровень точности при воспроизведении единицы вязкости на ГЭТ17).

Осенью 2012 г вискозиметр XL7 был подвергнут испытаниям в условиях лаборатории с целью определения действительного значения относительной погрешности, а так же частью программы исследований стали сравнительные испытания вискозиметра XL7 и преобразователя вязкости 7829. Данная часть испытаний была направлена на изучение возможности применения вискозиметра XL7 в качестве эталонного прибора в составе стационарных и мобильных установок для поверки и калибровки рабочих преобразователей вязкости моделей 7827/7829.

Краткое описание цели, программы, применяемого оборудования и результатов испытаний представлены ниже.

Цель испытаний: исследовать две модели вибрационных поточных вискозиметров различных производителей, при одинаковых лабораторных условиях, в жидкостях различной вязкости. Исследовать реакции вискозиметров на наличие свободного газа в измеряемой среде.

Описание испытательной установки. Для испытаний вискозиметров применялся циркуляционный жидкостный термостат с погрешностью поддержания температуры $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$, ртутные термометры с ценой деления $0,01^{\circ}\text{C}$. В ванну циркуляционного термостата устанавливались прозрачные цилиндры из кварцевого стекла диаметром 150 мм и 80 мм с жидкостями. В качестве рабочих жидкостей применялись ньютоновские жидкости (минеральные масла). Исследуемые вискозиметры устанавливались на цилиндры с жидкостями и ориентировались по осям цилиндров при помощи переходных центрирующих колец.

Описание и принцип действия испытуемых вискозиметров

Вискозиметр XL7

Измеряемые параметры: динамическая вязкость жидкости (расчет кинематической вязкости по величине плотности);

Диапазон измерения: 0...10000000 мПа·с;

Сходимость результатов измерений $\pm 0,1$ % от измеряемой величины;

Принцип действия:

Вискозиметр XL7 колебательным крутильным вискозиметром. Чувствительный элемент в виде диска на конце упругого стержня из нержавеющей стали погружен в измеряемую жидкость и имеет возвратно-поступательные вращательные колебания относительно оси диска на небольшой угол на очень высокой частоте. Колебания диска создают поперечные волны в жидкости. Энергия, расходуемая на поддержание колебаний и создание поперечных волн пропорциональна вязкости жидкости, измеряется микропроцессором, а затем преобразуется на индикаторе вискозиметра в величину вязкости в привычном для нас

виде. Более высокая вязкость вызывает большую потерю энергии и, следовательно, более высокую работу.

Преобразователь вязкости 7829.

Измеряемые параметры: динамическая, кинематическая вязкость, плотность, температура.

Диапазоны измерения: 0.5 – 100 мПа·с.

Относительная погрешность: $\delta = 1\%$ от шкалы.

Принцип действия:

Чувствительный элемент преобразователя вязкости 7829 представляет собой камертон, поддерживаемый электроникой в резонансе. Резонансная частота определяется плотностью среды, а демпфирование вибрации, относящееся обратно пропорционально к фактору добротности, пропорционально вязкости, т.е. при повышении вязкости среды Q уменьшается. Вискозиметр измеряет резонансную частоту и коэффициент добротности (резонансная частота/ширина полосы), по которым рассчитываются плотность и вязкость жидкости.

В соответствии с программой испытаний были поставлены три основные задачи:

1. Определить отклонение показаний вискозиметров от действительных значений вязкостей жидкости при нормальных условиях;
2. Исследовать влияние диаметра применяемого цилиндра с жидкостью на показания вискозиметров (граничные эффекты);
3. Исследовать реакцию вискозиметров на наличие пузырьков свободного газа в жидкости.

В качестве действительных значений вязкости жидкостей использовались результаты измерений, полученные с применением стеклянных капиллярных вискозиметров рабочих эталонов 1-го разряда (относительная погрешность $\delta=0,2\%$) и лабораторного плотномера ВИП-2МР (абсолютная погрешность $\pm 0,1 \text{ кг/м}^3$, или относительная $\delta=0,013\%$).

Так, как преобразователи вязкости 7829, используемые в испытаниях являлись рабочими средствами измерений ($\delta=1,0\%$) прибывшими в ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" на периодическую поверку и предварительно не калибровались большой упор в испытаниях был сделан не на фактическое отклонение показаний от действительных значений, а на сравнение реакции преобразователей 7829 и XL7 на "граничные эффекты" и наличие свободного газа в жидкости. Испытаниям были подвергнуты три преобразователя вязкости 7829 и один XL7. Результаты испытаний представлены в таблицах №1, №2 и №3.

Таблица №1. Испытание вискозиметров на влияние диаметра цилиндра с жидкостью.

Модель вискозиметра	Температура среды t , °С	Диаметр цилиндра d , мм	Действительное значение вязкости жидкости η , мПа·с	Показание вискозиметра η , мПа·с	Относительная приведенная погрешность δ , %
Hydramotion XL7	20,01	150	40,89	40,98	0,09
		82		40,94	0,05
150		37,61		3,28	
82		35,92		4,97	
Solartron 7829 (№1)					

Испытания проводились на одной и той же жидкости (минеральное масло) при одинаковой температуре. Испытуемые преобразователи поочередно устанавливались на цилиндр с жидкостью диаметром 150 мм, после выдержки цилиндра в термостатной ванне

не менее шести часов для стабилизации температуры фиксировались показания динамической вязкости. Затем операции повторялись для второго цилиндра диаметром 82 мм. Так, как преобразователи вязкости 7829 внесены в реестр СИ с относительной погрешностью 1,0% от шкалы (0-100) мПа·с, относительная погрешность преобразователя XL7 представлена также в % от шкалы (0-100) мПа·с. Из данных таблицы №1 видно, что диаметр цилиндра практически не влияет на показания преобразователя XL7 (0,09% и 0,05%) но значительно влияет на показания преобразователя 7829 (3,28% и 4,97%). Даже если не брать в расчет, что относительная погрешность преобразователя 7829 в этом испытании значительно превысила 1,0%, разница в диаметрах цилиндра приводит к изменению показаний на 1,69%.

Испытания преобразователей на наличие свободного газа в жидкости.

В жидкость №1, с помощью компрессора по тонкой трубке с рассеивателем на конце опущенным на дно цилиндра подавался атмосферный воздух под небольшим давлением. Рассеиватель располагался под чувствительным элементом преобразователей с таким расчетом, чтобы поднимающиеся к поверхности жидкости пузырьки воздуха проходили в активной зоне чувствительного элемента. Использовались два режима испытаний:

«Бомбардировка». Воздух подавался непрерывно;

"Ламинарный режим". Подача воздуха отключалась и пузырьки воздуха постепенно выходили из жидкости, поднимаясь к поверхности.

Результаты испытаний преобразователя XL7 представлены на графиках Рис.1.

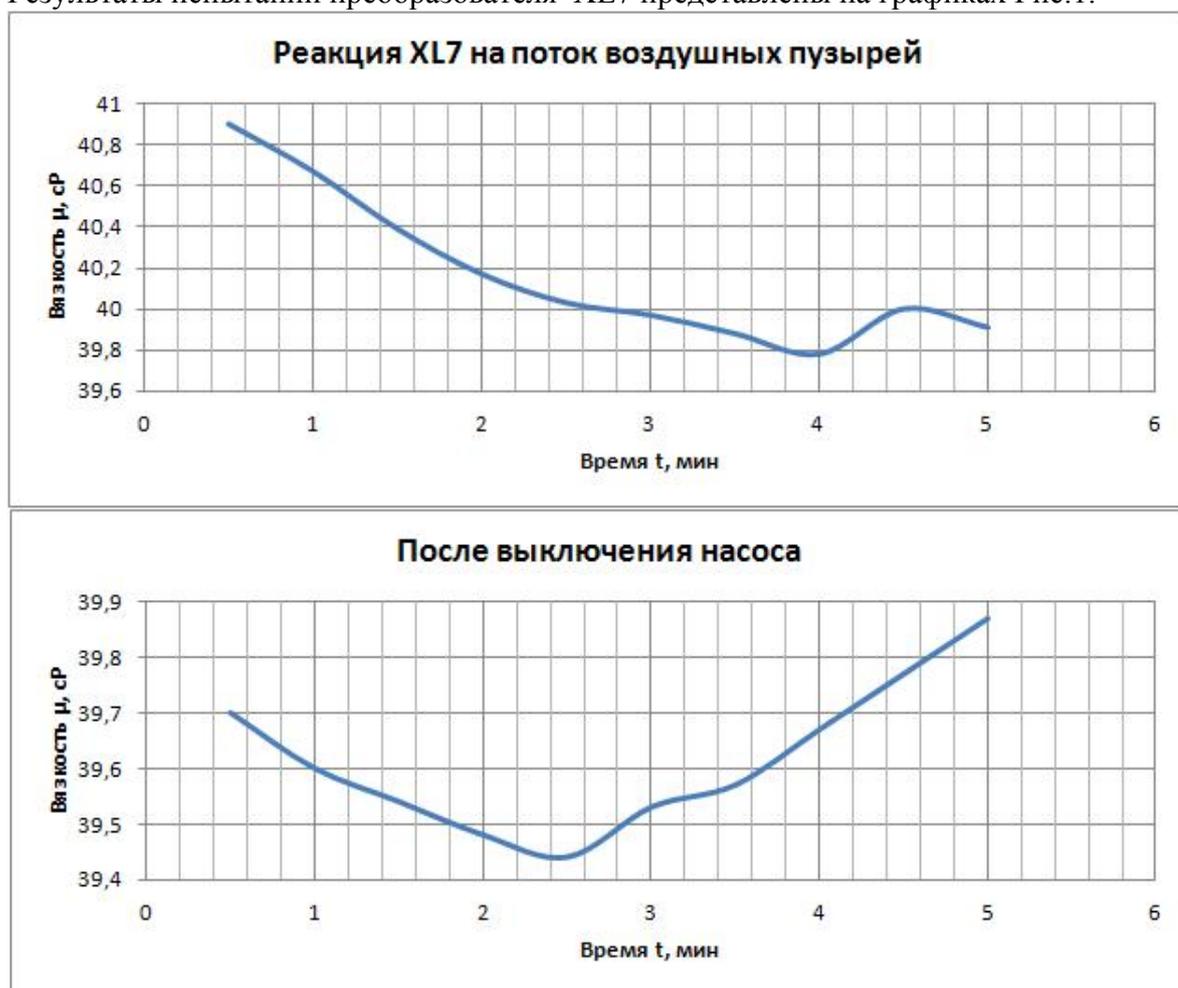


Рис. 1 Результаты испытаний преобразователя XL7

Реакция преобразователя XL7 на наличие воздушных пузырей в активной зоне чувствительного элемента довольно стабильна. Из верхнего график видно, что в течении «бомбардировки» жидкость постепенно насыщается пузырьками воздуха, и показания

вязкости постепенно снижаются. Можно сделать вывод, что действительное значение вязкости жидкости также снижается в этих пределах. Когда происходит насыщение (количество подаваемого компрессором и выходящего из жидкости через поверхность воздуха выравнивается), показания вязкости стабилизируются и начинают колебаться на уровне $39,9 \pm 0,2$ мПа·с. Из графика видно, что показания вязкости в результате «бомбардировки» снизились не более чем на 1,1%

После прекращения подачи воздуха и перехода в "ламинарный режим" колеблющиеся до этого момента вокруг одного значения показания вязкости начали закономерно расти и постепенно стабилизировались на значении вязкости, приблизительно на 1% меньшем, чем до начала испытаний так, как некоторые пузырьки все же осели на нижней поверхности диска чувствительного элемента (нижний график). Это связано с постепенным выходом пузырьков из активной зоны чувствительного элемента.

Результаты испытаний преобразователя 7829 представлены на графиках Рис.2.

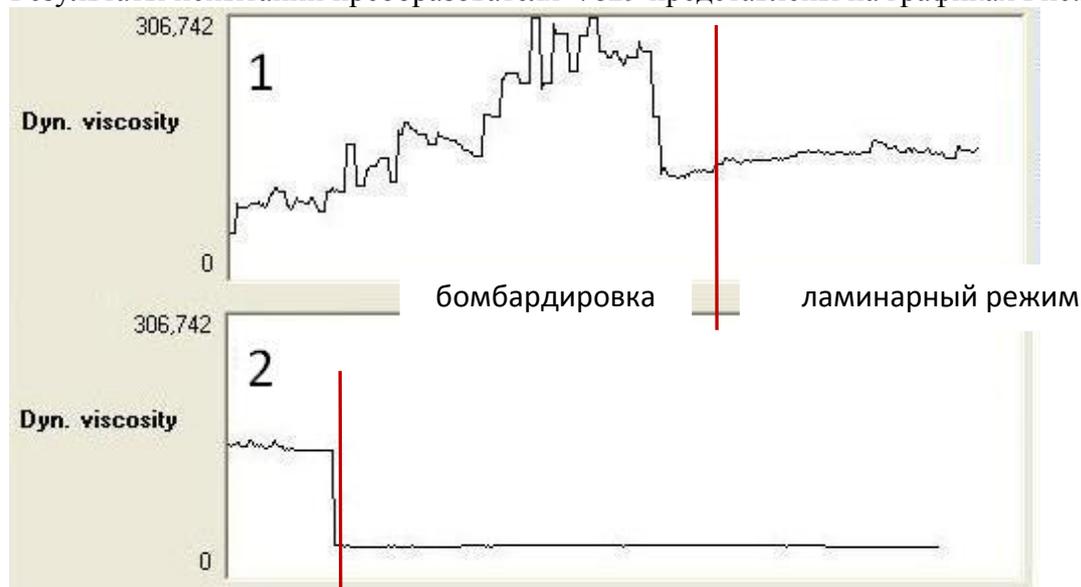


Рис. 2 Результаты испытаний преобразователя 7829

Из верхнего графика видно, что реакция преобразователя 7829 на режим «бомбардировка» в аналогичных условиях испытаний совершенно обратна и значительно более ярко выражена. С момента начала эксперимента показания преобразователя (38 мПа·с) начали скачкообразно расти и к концу превысили начальное значение более чем в 8 раз (306 мПа·с). После отключения подачи воздуха, показания резко упали и стали колебаться около значения ~ 150 мПа·с, что примерно в четыре раза выше начального значения вязкости. Это связано с оседанием пузырей на камертоне чувствительного элемента. В дальнейшем, после того, как преобразователь был извлечен из жидкости и снова установлен показания вернулись к начальному значению вязкости ~ 38 мПа·с.

Для чистоты эксперимента и подтверждения полученных результатов на второй жидкости с действительным значением вязкости 56,52 мПа·с были исследованы три преобразователя, один из которых преобразователь XL7, тот же, что и в предыдущем эксперименте, а два других новых преобразователя модели 7829 (№2 и №3). Как и в предыдущем опыте с жидкостью №1 данный эксперимент был проведен по той же самой методике, за исключением смены цилиндров. Бомбардировка пузырьками воздуха осуществлялась для преобразователя XL7 и преобразователя 7829 №2. Все измерения были выполнены в цилиндре с жидкостью (минеральное масло) диаметром 150 мм. Результаты представлены в таблице 2 и графиках рис.3.

Таблица №2. Подтверждения полученных результатов.

Модель вискозиметра	Температура среды t, °C	Диаметр цилиндра d, мм	Действительное значение вязкости жидкости η , мПа·с	Показания вискозиметра η , мПа·с	Относительная приведенная погрешность δ , %
Hydramotion XL7	20,03	150	56,52	56,50	0,02
7829 (№2)				61,00	4,48
7829 (№3)				58,33	1,81

Из данных таблицы видно, что относительные погрешности преобразователей 7829 и №2 и №3 так же превышают 1%.

На верхнем графике представлена реакция преобразователя XL7 на "бомбардировку" пузырьками воздуха и на "ламинарный режим" в жидкости с вязкостью 56,52 мПа·с. Реакция преобразователя аналогична его реакции в первом эксперименте. Средний и нижний график иллюстрируют реакцию преобразователя 7829 №2 на "бомбардировку" пузырьками воздуха и на "ламинарный режим". Из графиков видно, что реакция преобразователя №2 повторяет результаты 1-го эксперимента с преобразователем 7829 №1. При "бомбардировке" показания начинают скачкообразно расти, до момента насыщения жидкости пузырьками, при этом показания устанавливаются на уровне 150% от начального значения, после прекращения подачи воздуха ("ламинарный режим") резко падают.

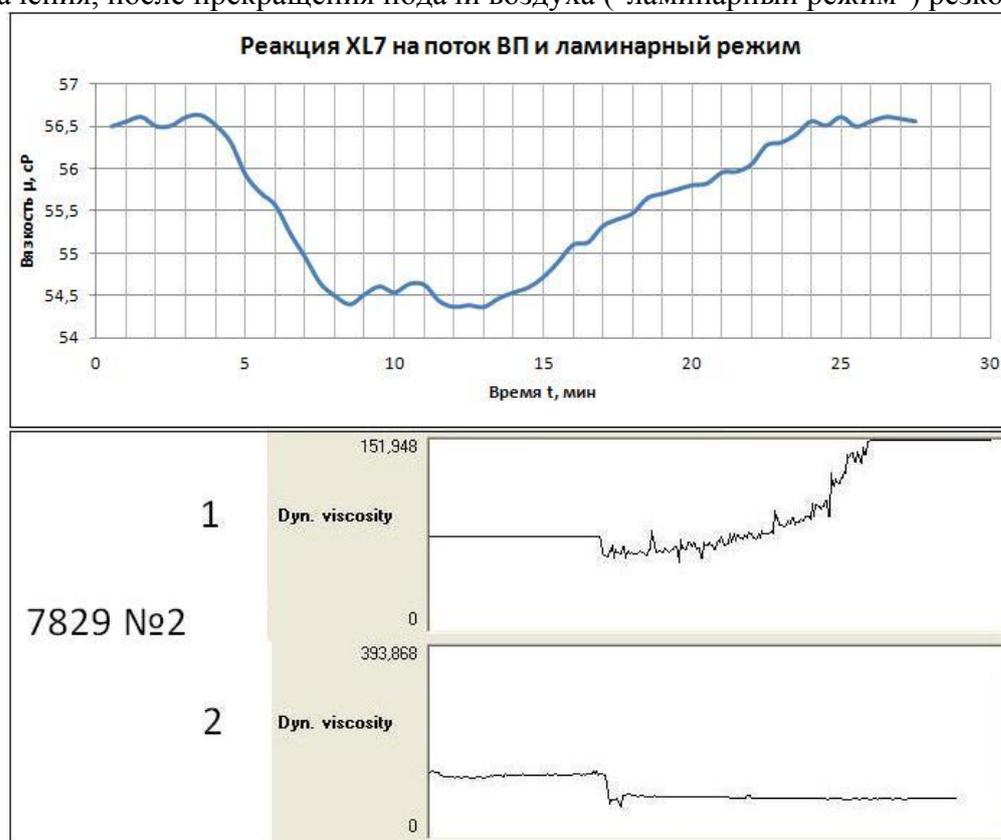


Рис. 3 Реакция преобразователей XL7 и 7829 №2

В результате проведенного опыта можно сделать вывод, что данные первого опыта не были случайны, одна и та же динамика реакции повторилась как и для преобразователя XL7, так и другого заводского номера преобразователя 7829.

Выводы по работе в целом.

В результате проведенных сравнительных испытаний можно сделать предварительный вывод, что поточный вибрационный преобразователь вязкости крутильного принципа действия ввиду меньшего радиуса активной зоны значительно менее подвержен влиянию как расстояния до стенок трубопровода (цилиндра) так и наличия пузырьков свободного газа в жидкости в отличие от вибрационного преобразователя вязкости с чувствительным элементом в виде камертона. Относительная погрешность крутильного преобразователя в рамках испытаний в статическом режиме не превысила заявленного производителем значения сходимости результатов измерений 0,1%. Для того, чтобы сделать вывод о возможности применения крутильного вискозиметра в качестве эталонного средства измерений в составе мобильных и стационарных поверочных установок необходимо проведение дополнительных исследований на реальных нефтях в динамических режимах, аналогичных режимам перекачки нефти через блоки измерения качества нефти на реальных объектах.

Список использованной литературы.

1. Новые автоматические вибрационные вискозиметры / В. П. Кремлевский, А. А. Степичев. - Л. : [б. и.], 1969. – 26 с. - (Ленингр. организация о-ва "Знание"
2. Руководство по эксплуатации 7829
3. Руководство по эксплуатации XL7
4. Вибрационный метод измерения вязкости жидкостей / А Н Соловьев, А Б Каплун. Наука, Сибирское отд-ние, 1970 - 139 с