

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ КАК АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ РЕШЕНИЕ

¹Баранов А. Н., ²Баранова Е. М., ³Борзенкова С. Ю.

¹*Тульский государственный университет,
Тула, Россия, anbbna1@yandex.ru,*

²*Тульский государственный университет,
Тула, Россия, elisafine@yandex.ru,*

³*Тульский государственный университет,
Тула, Россия, tehno1@rambler.ru*

Аннотация. В статье представлено описание необходимости прогнозирования живучести труб из металла при их длительном термосиловом динамическом (скоростном) нагружении, а также описан метод испытаний металлических труб на живучесть, позволяющий получить прогнозные значения срока службы металлических конструкций, представлен способ автоматизации полученного производственного решения.

Ключевые слова: износостойкость, интенсивность, концентратор напряжения, термосиловое воздействие.

Abstract. The article presents a description of the need to predict the survivability of metal pipes under long-term thermal-power dynamic (velocity) loading, and also describes a method for testing metal pipes for survivability, which makes it possible to obtain predicted values for the service life of metal structures, and presents a method for developing the resulting production solution.

Key words: wear resistance, intensity, stress concentrator, thermal force effect.

Вопросы прогнозирования живучести металлических труб всегда остаются актуальными, поскольку в Российской Федерации отсутствует единая база стандартов, а следовательно, и методов, прогнозирования живучести (износостойкости) полых тонкостенных (толстостенных) металлических конструкций.

Стальные металлические трубы подвергаются изнутри термосиловому воздействию, интенсивность, длительность и сила которого зависит от области применения металлических труб. Например, нефтепроводы, водопроводы, отопительные системы подвергаются нагружению вследствие действия на их стенки сил трения и давления перемещающихся слоев жидкости. Поршневые динамические системы, а также более сложные конструкции, применяемые в современных технических системах, подвергаются нагруженную вследствие перемещения твердого поршня, что увеличивает интенсивность нагрузки на стенки трубы в силу вы-

соких значений коэффициентов трения (металл по металлу). Также осуществляется воздействие на стенки труб вследствие высоких температур жидкостей или вследствие нагрева металла трубы от наличия сил трения [1].

На рис. 1 показана схема термосилового нагружения металлической трубы в сложной динамической системе.

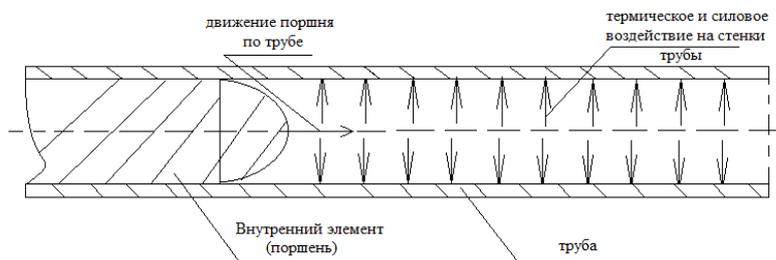


Рисунок 1 – Схема термосилового нагружения металлической трубы в сложной динамической системе

Интенсивное и длительное термосиловое воздействие на стенки трубы приводит к монотонному выкрашиванию зерен металла, к образованию трещин, и, в дальнейшем, к разрушению конструкции.

Особую важность разрушение приобретает в динамических системах, где нагрузки интенсивные, а температура нагрева металлической трубы возрастает в силу того, что металл не успевает отдать накопленное тепло окружающей среде при движении в нем вложенного элемента (поршня). Здесь разрыв трубы происходит мгновенно с выбросом дыма вследствие нагрева металла при термословом скоростном нагружении. Описанные моменты бывают очень опасны для пользователя (оператора) конструкции, так как разрыв может сопровождаться выломом горячих частей металла и выбросом их в окружающую конструкцию среду.

Для того, чтобы не допустить подобного рода разрывов, в частности, при термосиловом динамическом (скоростном) нагружении металлических труб, живучесть металла необходимо прогнозировать.

Аналитические методы прогнозирования живучести металлических труб не являются универсальными, существует ряд работ, которые, в условиях работы металлической трубы, позволяют рассчитать срок ее службы до возникновения трещин [2]. Именно возникновение трещин, в частности, магистральной трещины (наиболее глубокой и продолжительной в системе трещин) свидетельствует о скором физическом разрушении металла [3].

Отсутствие универсального аналитического метода расчета живучести металлических труб связано не только с широким спектром применимости металлических труб, а значит, и с разнообразием условий их нагружения. Внутренняя поверхность труб зачастую имеет концентраторы напряжений, образовавшихся вследствие конструкторской уникальности трубы, например, вследствие наличия проточек, резьб, засечек на внутренней поверхности трубы. Как

правило, установить «поведение» напряжений при наличии указанных конструктивных особенностей аналитически достаточно трудно, тем более «вывести» распределение и скопление напряжений на уровень унификации. Следовательно, необходимы экспериментальные исследования распределения и концентрации напряжений для определенных видов конструкций металлических труб с учетом факторов их нагружения, а именно: длительности, интенсивности, температуры, трения, условий эксплуатации, силовых параметров (давления внутри трубы), состава металла и пр.

На рис. 2 показаны концентраторы напряжений внутри конструкций металлических труб (половина поперечного сечения трубы).

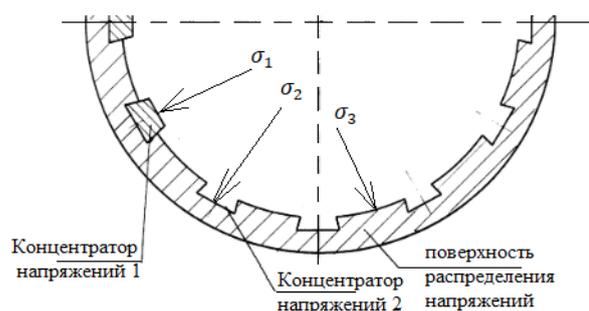


Рисунок 2 – Концентраторы напряжений и опасные сечения внутри конструкций металлических труб (половина поперечного сечения трубы)

На рис. 2 показана типовая конструктивная особенность внутренней поверхности металлической трубы (нарезы и поля нарезков). Очевидно, что будет наблюдаться неравенство напряжений: $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$.

Еще одной сложностью, связанной с выявлением живучести металлических труб, является то, что живучесть (металлостойкость, стойкость, прочность, надежность) может измеряться в различных единицах. Например, живучесть металлических труб при воздействии на их внутреннюю поверхность напряжениями, возникающими в процессе хождения вложенного элемента (поршня), может определяться количеством проходов этого элемента внутри поверхности трубы до образования магистральной трещины или до критического значения износа стенки трубы (проточки). Такую величину целесообразно назвать количеством рабочих циклов сложной динамической конструкции.

Если рассматривать нефтепроводы (иные трубы, по которым течет жидкость), то живучесть труб может измеряться сроком службы трубы (год, месяц) до образования критического значения износа стенки металла или до появления магистральной трещины.

Непосредственное разрушение металла, как критическая позиция в экспериментальных исследованиях, рассматриваться не может, так как система должна иметь некий запас живучести (стойкости), но при этом, отработать, фактически, до начала момента разрушения металла.

Следует отметить, что выбор критической позиции, до которой должна работать система, так же является существенной проблемой, так как различные работы предлагают в качестве такой позиции различные факторы: первоначальные трещины для хрупким металлов, магистральные трещины для пластических металлов, максимально-допустимый износ стенки металла, максимальные напряжения в концентраторах и опасных сечениях [1; 2].

Системность производственного решения по устранению проблемы отсутствия единых государственных стандартов РФ сводится к наработке экспериментальным путем значений живучести металлических труб различных размеров, геометрических конструкций и материалов.

Несомненно, формализовать в виде «значений живучести» экспериментальные исследования всех возможных конструкций труб из всех применяемых в настоящее время металлов не представляется возможным. Однако, охватить класс конструкций и материалов труб вполне решаемая задача.

Для этих целей на базе прессы К2130Б создана испытательная установка, имитирующая термосиловой процесс нагружения металлической трубы за счет движения в ней вложенного элемента.

На рис. 3 показана схема экспериментальной установки для определения живучести металлических труб с динамически-активным вложенным элементом (поршнем).

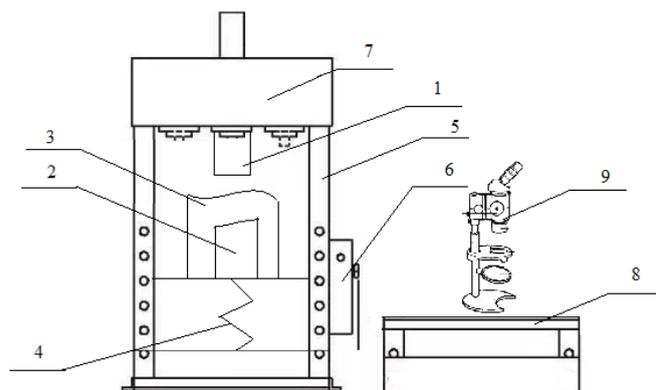


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки для определения живучести металлических труб с динамически-активным вложенным элементом (поршнем):

- 1 – вложенный в металлическую трубу элемент (поршень);
- 2 – металлическая труба, подверженная испытаниям на живучесть материала;
- 3 – нагревательное устройство, поддерживающее режим термического нагружения;
- 4 – демпфирующее устройство;
- 5 – пресс;
- 6 – редуктор прессы;
- 7 – штамп, воспроизводящий динамическую нагрузку;
- 8 – микроскоп для отслеживания поверхности;
- 9 – вспомогательный стол.

Следует отметить, что метод экспериментального исследования осуществляется с последовательным испытанием различных материалов труб

и исследованием результатов испытаний при помощи микроскопа на предмет наличия трещин. Разрыв металла на испытательной установке не планируется. Термосиловые условия нагружения варьируются в пределах их значений, известных из условий эксплуатации металлических труб. По результатам экспериментальных исследований строится регрессионная модель с учетом большинства основных факторов, оказывающих влияние на живучесть металлов труб. Полученные уравнения регрессии проверяются на адекватность методами статистики. Возможно построение моделей первого и второго порядка (второго порядка при условии, что модель первого порядка не адекватна).

Полученные прогнозным путем значения живучести металла позволят спрогнозировать циклы работоспособности металлических труб до возникновения их разрывов, что особенно важно в бизнесберегающих условиях их эксплуатации.

При использовании современных камер процесс износа стенки металлической трубы и образования трещин можно осуществлять в течение всего периода испытания благодаря нейросетевым методом распознавания образов [4].

Также необходимо добавить, что спрогнозированные значения живучести металла труб позволяют заранее определить их количество для отработки известного объема работ, что существенно сокращает временные простои, связанные с производством металлических труб, пришедших в негодность. В свою очередь, это сокращает временные рамки на ликвидацию аварий или реализацию иных мероприятий, связанных с эксплуатацией подобных конструкций.

Список использованных источников:

1. Баранов, А. Н. Программное решение для оптимизации параметров техпроцесса с позиций инструментальной выносливости / А. Н. Баранов, В. А. Баранова // *Материалы всероссийской науч.-практич. конф. студ. и молодых ученых Молодежная наука в развитии регионов: (Березники, 27 апреля 2022 г.)*. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022. – С. 7–12.

2. Баранова, Е. М. Автоматизированный комплекс управления производственным процессом / Е. М. Баранова, В. А. Баранова // *Сборник материалов VI Междунар. конф. «Информационные технологии и технические средства управления»* // Институт проблем управлений им. В. А. Трапезникова РАН на базе Астраханского государственного технического университета (г. Астрахань) с 3 до 7 октября 2022 г. – С. 63–68.

3. Веселуха, В. М. Оценка живучести труб линейной части нефтепровода с продольной полуэллиптической трещиной с учетом длительной эксплуатации / В. М. Веселуха, А. Е. Шишкин // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2014. – № 3 (28). – С. 53–58.

4. Савин, Д. С. Применение нейросетей в процессе контроля эффективности технологических процессов / Д. С. Савин, А. Н. Баранов // *Частное профессиональное образовательное учреждение «Анапский индустриальный техникум»* // *Сборник тезисов Всероссийской науч.-практич. конф. Научное творчество молодежи*, 24 марта 2022 г., Анапа – С. 474–476.