

УДК 622.276

## ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ СКЛОПЛАСТИКОВИХ НАСОСНИХ ШТАНГ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

© Копей Б. В., 2002

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

© Ройзман В. П., Ковтун І. І., 2002

Технологічний університет "Поділля", м. Луцьк

**Запропоновано метод прогнозування міцності склопластикових насосних штанг на основі контролю сигналів акустичної емісії. Визначено коефіцієнт прогнозування, за допомогою якого можна здійснювати неруйнівний контроль склопластикових штанг методом акустичної емісії.**

Використання в сучасній нафтогазовидобувній промисловості нового композиційного матеріалу - склопластика при виготовленні відповідальних деталей при видобутку нафти - насосних штанг (рис. 1) спричинило за собою ряд проблем, зв'язаних з нестабільністю технології їхнього виробництва і, як наслідок, нестабільністю міцнісних характеристик деталей, що випускаються [1...3]. Поломки, що виникають при видобутку нафти, і істотні витрати, що йдуть на уловлювання уламків зі свердловини, та подальший ремонт устаткування викликали необхідність пошуку способу оцінки і контролю міцності деталей, що випускаються. Одним зі шляхів рішення цієї задачі є розробка методик неруйнівного діагностування і прогнозування міцності деталей за допомогою методу акустичної емісії.



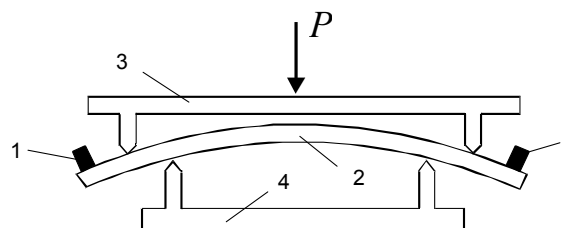
Рис. 1. Насосні штанги та стержні з склопластика

Акустично-емісійні дослідження склопластикових відрізків насосних штанг, які є основною і відповідальною складовою частиною насосних штанг при статичному навантаженні на згин стало частиною виконання замовлення нафтогазової промисловості по створенню методик неруйнівного діагностування і прогнозування міцності насосних штанг при видобутку нафти.

### 1. Випробування відрізків насосних штанг статичним навантаженням на згин

Випробування проводилися за допомогою ма-

шини ІР5057-50 навантаженням на вигин (чотири-точковий вигин) з постійною швидкістю 5 мм/хв. Схема навантаження показана на рис. 2.



1 - п'єзоелектричні датчики; 2 - відрізок насосної штанги; 3 - пуансон; 4 - опора

Рис. 2. Схема навантаження відрізків насосних штанг

Одночасно з навантаженням на самописі ІР5057-50 здійснювався запис діаграми навантаження - відносна деформація і реєстрація параметрів сигналів акустичної емісії (АЕ) за допомогою вимірювального комплексу ПАК АЕ. Для зняття сигналів АЕ п'єзоелектричні датчики кріпилися за допомогою струбцин на кінцях відрізків насосних штанг (рис. 2) через шар акустичного мастила.

Навантаженням за зазначеною схемою до руйнування було випробувано 15 зразків.

### 2. Акустична емісія при деформуванні відрізків насосних штанг

Проведені випробування дозволили одержати залежності параметрів сигналів АЕ від навантаження і лінійної координати по довжині зразків. На рис. 3 показані типові акустограми амплітуди (рис. 3а) і активності (рис. 3б) сигналів АЕ, які отримані при випробуванні склопластикових зразків.

Подібний тип акустограм був отриманий для усіх випробуваних зразків. Характерним і загальним в поведженні АЕ склопластикових зразків є те, що залежність амплітуди й активності сигналів АЕ від

навантаження має завжди вид, який представлений на рис. 4.

Як видно з графіків (рис. 3 і рис. 4), сигнали АЕ випромінюються відразу ж після початку навантаження. При цьому рівень емісії невисокий - амплітуда сигналів знаходиться на рівні 1200...1800 мкВ (рис. 3а), а інтенсивність дорівнює приблизно 10 імп/с (рис. 3б). Цікавим є той факт, що амплітудний рівень залишається постійним від початку навантаження і до досягнення матеріалом зразка деякого критичного навантаження  $P_{кр}$ . При досягненні цього навантаження має місце різкий сплеск параметрів АЕ. Тут амплітуда сигналів приймає максимальні значення близько 6000 мкВ, активність підвищується до рівня 50...60 імп/с (рис. 3).

Як показують матеріали експериментів, критичне навантаження, при якому відбувається різкий сплеск параметрів АЕ, відповідає

$$P_{кр} = (0,7 \dots 0,8) P_{max}, \quad (1)$$

де  $P_{max}$  - максимальне навантаження, що витримає зразок.

Оскільки проявлення параметрів АЕ (різке підвищення амплітуди до 6000 мкВ і активності до 50...60 імп/с) відповідає навантаженню, зв'язаному, з руйнівним навантаженням, то можна припустити можливість використання значень параметрів АЕ для оцінки навантаження, а значить і міцнісного стану зразків. Для перевірки цього припущення було проведено детальне вивчення параметрів сигналів АЕ, отриманих при випробуванні партії зразків.

### 3. Амплітудна селекція сигналів АЕ

Амплітудний розподіл сигналів АЕ на всій ділянці навантаження зразків має свої особливості. Встановлено, що при навантаженні склопластику в основному мають місце два типи сигналів АЕ: основний "фон" - низький рівень сигналів близько 1200 мкВ, що є присутнім від початку навантаження до самого руйнування, і сигнали, що проявляються як амплітудні сплески (понад 3000 мкВ) при збільшенні навантаження і особливо при перевищенні критичного навантаження  $P_{кр}$ .

На рис. 5 показані залежності параметрів сигналів АЕ обох типів. Дані графіки були отримані програмною обробкою матеріалів АЕ, у процесі якої проводилася амплітудна селекція сигналів, тобто з загального обсягу сигналів АЕ, отриманих при тестуванні склопластикового зразка, відбиралися сигнали низького (до 3000 мкВ) і високого (понад 3000 мкВ) рівнів, на основі чого були побудовані приведені залежності.

Наявність двох різних проявів АЕ може бути пояснена природою їхнього походження. Структура склопластику представляє собою систему волокно - матриця, де волокнами є скловолокно, а матрицею - епоксидна сполучна. Низькорівневе випромінювання сигналів АЕ може бути зв'язане з плинністю і

розтріскуванням матриці і руйнуванням границь розділу волокно-матриця [4]. Активність цих сигналів безупинно зростає до рівня навантаження, що відповідає  $P_{кр}$ . На рис. 5б даний момент визначається максимумом активності АЕ.

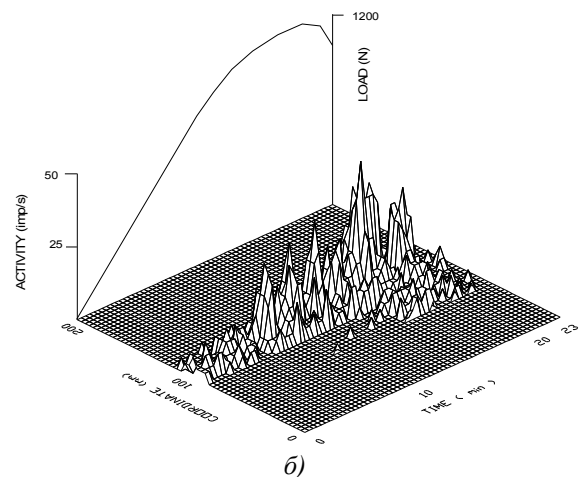
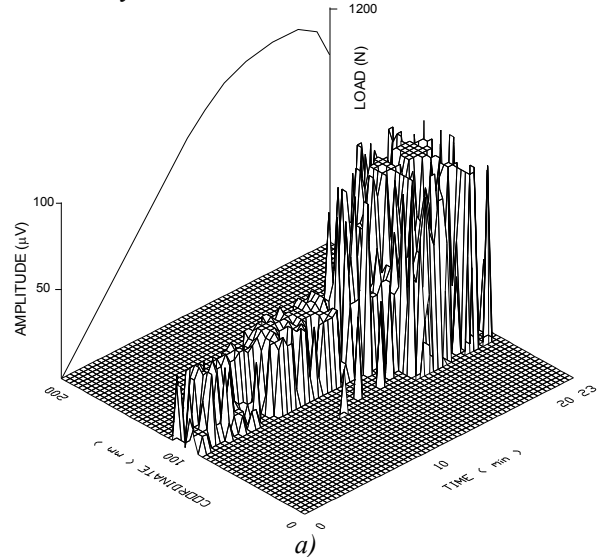


Рис. 3. Залежність амплітуди (а) і активності (б) сигналів АЕ від навантаження і лінійної координати по довжині зразка

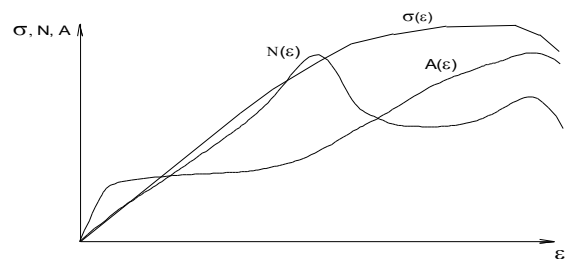
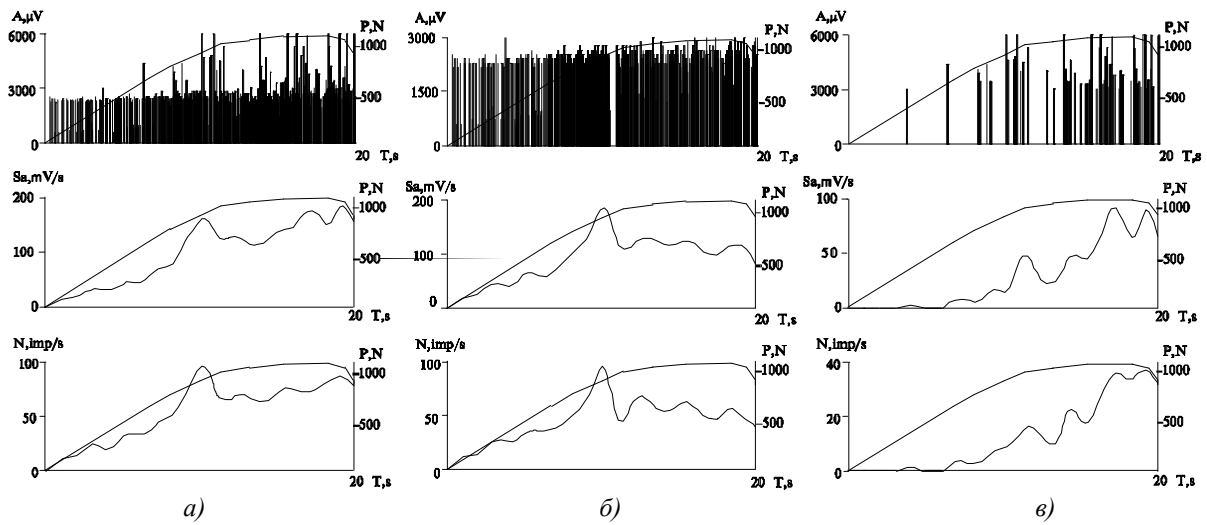


Рис. 4. Криві залежностей амплітуд (A) і активності (N) сигналів АЕ та напружень (σ) від відносної деформації (ε) склопластикових зразків



а) побудовані по всім сигналам АЕ, зареєстрованим при випробуванні зразка; б) - по сигналам, амплітудний рівень яких нижче 3000мкВ; в) - по сигналам, рівень яких перевищує 3000мкВ

Рис. 5. Залежності амплітуди (А), сумарної амплітуди ( $S_a$ ) та активності сигналів АЕ (N) від навантаження (P)

Збільшення навантаження і прогину приводить до того, що, вичерпавши запас міцності матриці, руйнування втягує в себе скловолокна. Перші високоамплітудні сплески свідчать про розрив найбільш слабких волокон, розташованих біля поверхні зразка, де діють максимальні нормальні напруги (рис. 6). Висока амплітуда сигналів АЕ, що виникає при розриві волокон, викликана кількістю пружної енергії, що накопичується і вивільняється при їхньому розриві [5]. Зростаюча кількість сигналів АЕ характеризує кількість волокон, що руйнуються; на рис. 5 в видно підвищення активності високоамплітудних сигналів. Пік активності цих сигналів відповідає моменту руйнування матеріалу, тут крім розриву окремих волокон можливе включення ще одного виду руйнування (матриці, що розтріскується, і волокон, що рвуться).

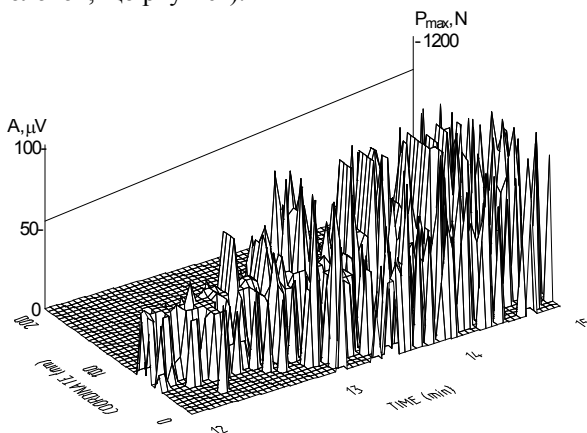


Рис. 6. Фрагмент навантаження, який показує початок руйнування скловолокон

Таким чином, максимум активності низькорівневих сигналів і наявність високоамплітудних сигналів показують момент настання катастрофічних змін у структурі матеріалу. На підставі цього можна сказати, що параметри АЕ характеризують процеси, що відбуваються в матеріалі. Однак таке діагностування стану матеріалу є руйнівним, тому необхідно знайти спосіб, при використанні якого за допомогою параметрів АЕ можна було б характеризувати стан і міцність матеріалу при його тестуванні в зоні докритичного навантаження.

#### 4. Розробка методики діагностування, що неруйнує, і прогнозування міцності відрізків наосних штанг

Якщо на прикладі графіка на рис. 5в, для побудови якого були використані параметри сигналів АЕ і амплітуда яких перевищує 3000 мкВ, розглянути поведінку АЕ, випромінюваної при навантаженні зразка, то видно, що поява перших високоамплітудних сплесків (понад 3000 мкВ) відбувається ще в зоні пружності, задовго до настання  $P_{кр}$ . Фіксація цих сигналів, амплітудний рівень яких перевищує рівень фону в два рази, свідчить про початок розвитку небезпечного дефекту структури зразка. Логічно припустити, що чим при меншому навантаженні будуть зафіксовані високоамплітудні сигнали, тим менш міцним може виявитися тестований зразок.

Для перевірки цього припущення, використовуючи підхід, вироблений на сталевих зразках, для 15-ти випробуваних склопластикових зразків були визначені навантаження прогнозування  $P_{прз}$ , що відповідають моменту появи сигналів АЕ амплітудою 3000 мкВ і активністю 25 імп/с і обчислені коефіцієнти прогнозування граничного навантаження для кожного зразка:

$$K = P_{\max} / P_{\text{арг}} . \quad (2)$$

Виявилось, що коефіцієнти прогнозування для випробуваної партії зразків знаходяться в межах від 2,06 до 3. Як і у випадку зі сталевими зразками, така розбіжність значень коефіцієнта прогнозування пов'язана з нестабільністю технології виробництва склопластику. Тому, найбільш раціональним буде, якщо за коефіцієнт прогнозування граничного навантаження зразків прийняти мінімальне значення ( $K_{\min}=2$ ).

Для організації контролю міцності без руйнування деталей коефіцієнт прогнозування граничного навантаження використовувався для визначення безпечного рівня тестування  $P_{\text{тест}}$  за формулою

$$P_{\text{тест}} = P_{\max}^{\text{дон}} / K_{\min} , \quad (3)$$

де  $P_{\max}^{\text{дон}}$  - припустиме значення максимального навантаження склопластикових зразків.

Тепер, навантажуючи зразок до  $P_{\text{тест}}$  і вимірюючи значення амплітуди й активності сигналів АЕ, можна сказати, що тестований зразок є міцним, якщо максимальне навантаження, яке він здатний витримати, не нижче  $P_{\max}^{\text{дон}}$  у випадку, коли амплітуда сигналів не перевищить 3000 мкв, а активність – 25 імп/с. В іншому випадку цей зразок визнається як дефектний і відбраковується. Крім цього, при необхідності можна спрогнозувати максимальне навантаження зразка, визначивши його за формулою

$$P_{\text{розр}}^{\text{прг}} = P_{\text{прг}} K_{\min} . \quad (4)$$

Оцінку витривалості і довговічності насосних штанг провели на основі втомних випробувань натурних зразків діаметром 22 мм при їх круговому згині [12].

На підставі отриманих результатів запропонована методика діагностування і прогнозування міцності склопластикових відрізків (заготовок), що використовуються для виробництва насосних штанг:

1) з промислової партії заготовок відбирається контрольна група, що піддається тестуванню без руйнування. У випадку виробництва особливо відповідальних деталей тестуванню підлягають усі заготовки;

2) тестування кожної заготовки без руйнування проводять навантаженням на чотириточковий вигин, ступенево, до навантаження  $P_{\text{тест}} = P_{\max}^{\text{дон}} / K_{\min}$  з одночасною реєстрацією навантаження і параметрів сигналів АЕ;

3) якщо при навантаженні до  $P_{\text{тест}}$  значення амплітуд і активності сигналів АЕ перевищили контрольні значення (3000 мкв і 25 імп/с), то заготовка визнається дефектною і відбраковується;

4) якщо ж параметри АЕ не перевищили контрольного рівня, то заготовка не містить дефектів і її

міцність вважається не нижче допустимої.

1. Kopey B. V., Kopey I. B., Maksymuk A. V., Shcherbyna N. M. Development of steel head joints with fiberglass sucker rod on the base of contact stresses investigation. In: Proceedings of Int.Symp. Fatigue Design - 1998, Espoo, Finland, 26-29 May, 1998. - Vol. II. - P. 603-612. 2. Копей Б. В., Кіндрачук С. М. Використання полімерних насосних штанг для уникнення згинаючих напружень в сталевій колоні штанг // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Нафтогазопромислове обладнання. - № 35. - Т. 4. - 1998. - С. 27-31. 3. Копей Б. В., Максимук О. В., Щербина Н. В., Кіндрачук С. Б. Контактна жорсткість конструктивного з'єднання композиційної оболонки зі сталевую обоймою при крученні // Машинознавство. - № 11/12. - 1998. - С. 2-5. 4. Гуменюк С. Б., Копей Б. В., Ройзман В. П. Використання методу акустичної емісії для прогнозування довговічності виробів з ПКМ // Нафтова і газова промисловість. - № 1. - 1999. - С. 23-25. 5. Акустическая эмиссия и её применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике // Под ред. К. Б. Вакара. - М.: Атомиздат, 1980. - 216 с. 6. Грешиников В. А., Дробот Ю. В. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. - М.: Издательство стандартов, 1976. - 272 с. 7. Недосека А. Я. Основы расчёта и диагностики сварных конструкций. - К.: Издательство "ИНДПРОМ", 1998. - 640 с. 8. Филоненко С. Ф. Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. -К.: КМУГА, 1999. - 312 с. 9. Шемякин В. В. Критерий отбраковки ложных событий акустической эмиссии для антенны в виде централизованного треугольника // Диагностика и прогнозирование разрушения сварных конструкций. - 1985. - Вып. 1. - С. 45-46. 10. Анисимов В. К. Однозначное определение координат источников АЭ в листовых материалах // Дефектоскопия. - 1990. - № 7. 11. Слепцов О. И., Жирков А. М. Локализация источников АЭ методом последовательных приближений // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 1990. - № 3. 12. Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций // Стрижало В. А., Добровольский Ю. В.; Отв. ред. Писаренко Г. С.; АН УССР. Институт проблем прочности. - К.: Наукова думка, 1990. - 232 с. 13. Kopey B., Kindrachuk S., Maksymuk O. Fatigue assessment of polymeric reinforced rod joints with metallic bandages // В зб. "Надійність машин та прогнозування їх ресурсу". Доповіді міжнародної науково-технічної конференції, Івано-Франківськ, 20-22 вересня 2000 р. - В двох томах. Том 1. Івано-Франківськ: Факел, 2000. - С. 195-201.