

ВИКОРИСТАННЯ «ДЕРЕВА ВІДМОВ» ЯК МЕТОДУ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ ШТАНГОВОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Б.В. Копей, В.Б. Копей, О.Р. Мартинець, О.І. Стефанишин, А.Б. Стефанишин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42331,
e-mail: koreyb@nuing.edu.ua

У 1940-50-х роках теорія надійності, як самостійна галузь знань, отримує поширення в основному в авіації, військовій та ядерній індустрії. З розвитком електроніки у США стало очевидним, що слід було розробляти елементи системи насамперед надійними. Системи були настільки складними, а елементи системи впливали на велику кількість різних функцій, що тільки чіткі дії обслуговуючого інженерного персоналу могли забезпечувати мінімально необхідний рівень надійності. У 1962 році вперше був використаний метод «аналізу дерева відмов» (fault tree analysis, FTA) компанією Bell Labs для Військово-повітряних сил США, який на сьогоднішній день набув широкого поширення для аналізу причин відмов статичних систем. В статті розглянуто питання надійності ШСНУ з точки зору її структурного аналізу. На основі оцінки дерева відмов можна визначити появу події, яка може привести до небажаного порушення роботи. Таким чином, відносно просто ідентифікувати події, яких треба уникнути і впливати на те, щоб зменшити небажану подію. На основі оцінки можна зробити висновок, що насос має найвищу інтенсивність відмов і це означає, що коли настає зупинка ШСНУ, то першим розглянемо висновок, яким має бути відмова насоса і при роботі чи обслуговуванні нам потрібно зробити наголос саме на свердловинний насос. Різні компанії в різних регіонах можуть мати різну частоту відмов насосів штанг і НКТ. Потрібно побудувати дерево відмов і оцінити його, а потім треба взяти відповідні заходи, щоб усунути чи зменшити причину відмов і, таким чином, уникнути зупинки установок. ШСНУ може мати різні дерева відмов, тобто для різних типів ШСНУ чи свердловинного обладнання. Вплив на частоту відмов може бути виконано на основі інженерних, навчальних та адміністративних заходах.

Ключові слова: штангова насосна установка, надійність, відмова, ймовірність, колона штанг

В 1940-50-х годах теория надежности, как самостоятельная отрасль знаний, получает распространение в основном в авиации, военной и ядерной индустрии. С развитием электроники в США стало очевидно, что следовало разрабатывать элементы системы прежде всего надежными. Системы были настолько сложными, а элементы системы влияли на большое количество различных функций, что только четкие действия обслуживающего инженерного персонала могли обеспечивать минимально необходимый уровень надежности. В 1962 году впервые был использован метод анализа дерева отказов (fault tree analysis, FTA) компанией Bell Labs для Военно-воздушных сил США, который на сегодняшний день получил широкое распространение для анализа причин отказов статических систем. В статье рассмотрены вопросы надежности ШСНУ с точки зрения ее структурного анализа. На основе оценки дерева отказов можно определить появление события, которое может привести к нежелательному нарушению работы. Таким образом относительно просто идентифицировать события, которые нужно избежать и оказывать влияние, чтобы уменьшить нежелательное событие. На основе оценки можно сказать, что насос имеет высокую интенсивность отказов и это означает, что когда наступает остановка ШСНУ, то первым рассмотрим вывод, каким должен быть отказ насоса и при работе или обслуживании нам нужно сделать упор именно на скважинный насос. Различные компании в различных регионах могут иметь различную частоту отказов насосов штанг и НКТ. Нужно построить дерево отказов и оценить его, а затем следует принять меры, чтобы устранить или уменьшить причину отказов и, таким образом, избежать остановки установок. ШСНУ может иметь разные деревья отказов, т.е. для различных типов ШСНУ или скважинного оборудования. Влияние на частоту отказов может быть выполнено на основе инженерных, учебных и административных мер.

Ключевые слова: штанговая насосная установка, надежность, отказ, вероятность, колонна штанг.

In 1940-50 years of reliability theory as an independent branch of knowledge is spread mainly in aviation, military and nuclear industry. With the development of electronics in the U.S., it became apparent that it should develop the elements of the system especially reliable. Systems are so complex, and the elements of the system affect the large number of different functions, just clear of maintenance engineering staff can provide a minimum level of reliability. In 1962, the first method has been used fault tree analysis (fault tree analysis, FTA) by Bell Labs for the Air Force United States, which today is widespread for the analysis of causes of failures of static systems. The reliability of pumping unit is studied in this article from the point of view of its structural analysis. Based on the evaluation of fault tree can be defined appearance of an event that may cause undesired malfunction. Therefore relatively easy to identify events that should avoid and influence to reduce adverse events. Based on the evaluation we can say that the pump has the highest failure rate and this means that when it stop the SRPU, the first look at the conclusion must be that the pump failure when working or do maintenance we need to do the focus on the downhole pump. Different companies in different regions can have different failure rates rod pumps and tubing. We construct a fault tree and evaluate it, and must take measures to eliminate or reduce the cause of failures and thus avoid stop settings. SRPU may have different fault tree, i.e. for different types of SRPU or downhole equipment. Effect of the frequency of failures can be made on the basis of engineering, educational, and administrative activities.

Key words: pumping unit, reliability, failure, probability, sucker rod column

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Дерево відмов лежить в основі логіко-ймовірнісної моделі причинно-наслідкових зв'язків відмов системи з відмовами її елементів та іншими подіями. При аналізі виникнення відмови насосних штанг в структурі штангової насосної установки дерево відмов складається з послідовностей і комбінацій несправностей і є багаторівневою графологічною структурою причинних взаємозв'язків, отриманих в результаті простежування небезпечних ситуацій. У зворотньому порядку можна відшукати можливі причини виникнення пошкоджень колони насосних штанг. В літературі на даний час застосовують метод дерева відмов для структурного аналізу об'єктів [1-3].

Висвітлення невіршених раніше частин загальної проблеми

Практично надійність ШСНУ з точки зору її структурного аналізу на даний час не була досліджена. Оскільки, її складовою є колони насосних штанг, яка є найменш надійною частиною установки, питання надійності колони насосних штанг в складі ШСНУ не були достатньо вивчені.

Постановка задачі досліджень

Особливо необхідно визначити використання дерева відмов для аналізу відмов системи штангових установок, що може призвести до поліпшення процесу прийняття рішень щодо усунення несправностей. Коли цей аналіз буде зроблено, можна буде з'ясувати, основні причини відмов для різних НГВУ, так і для різних виробничих підрозділів, і зробити штангові насосні системи більш ефективними і дієвими.

Основний матеріал дослідження

Аналіз дерева відмов (англійською Fault Tree Analysis - FTA) вперше був розроблений в 1961-62 роках А. Уотсоном з фірми Bell Telephone Laboratories (США) з метою застосування в повітряних силах США. З тих пір він широко використовується для підвищення безпеки різних систем у військовій, аерокосмічній, гірничодобувній та атомній промисловості. Він часто використовується як інструмент експертного аналізу відмов надійності різноманітного обладнання. Метод дерева відмов є частиною національних стандартів таких, наприклад, як стандарт США «MIL-HDBK-217 Reliability prediction of electronic equipment» або російських «Методических указаний по проведению анализа риска опасных производственных объектов №РД 03-418-01».

У проведенні аналізу дерева відмов реалізовано дедуктивний метод (причини - наслідки), що дає найбільш серйозні можливості щодо пошуку кореневих причин подій для статичних систем, так як дає наочну і докладну схему взаємозв'язків елементів інфраструктури та подій, що впливають на їх надійність.

Використання дерева відмов є важливим та полягає в наступному: аналіз орієнтується на

знаходженні відмов; дає змогу виявити ненадійні місця; забезпечується графікою і є наочним матеріалом для тієї частини інженерно-технічних фахівців, які беруть участь в обслуговуванні системи; дає можливість виконувати якісний або кількісний аналіз надійності системи; дає можливість фахівцям по черзі зосереджуватися на окремих конкретних відмовах системи; забезпечує глибоке уявлення про поведінку системи і проникнення в процес її роботи; є засобом спілкування фахівців, оскільки вони представлені в чіткій наочній формі; допомагає дедуктивно виявляти відмови; дає конструкторам, користувачам та керівникам можливість наочного обґрунтування конструктивних змін або встановлення ступеня відповідності конструкції системи заданим вимогам і аналізу компромісних рішень; полегшує аналіз надійності складних систем.

Головна перевага дерева відмов (порівняно з іншими методами) полягає в тому, що аналіз обмежується виявленням лише тих елементів системи та подій, які призводять до даної конкретної відмови системи або аварії. Щоб відшукати і наочно представити причинний взаємозв'язок за допомогою дерева відмов, необхідні елементарні блоки, які підрозділяються і зв'язують велику кількість подій.

Є два типи блоків: логічні символи (знаки) і символи подій.

Логічні символи. Логічні символи (знаки) пов'язують події відповідно до представлення їх причинних взаємозв'язків. Позначення логічних знаків наведено в таблиці 1.







Значення логічних символів дерева відмов. Логічний символ (знак) може мати один або кілька входів, але тільки один вихід чи вихідну подію. Логічний знак "I" (схема збігу). Вихідна подія логічного знака I настає в тому випадку, якщо всі вхідні події з'являються одночасно.

Правило формулювання подій. Події, вхідні у відношенні до операції I, повинні формулюватися так, щоб друге було умовним у відношенні до першого, третє умовним у відношенні до першого і другого, а останнє – умовним до всіх попередніх. Крім того, значною мірою, одна з подій повинна бути пов'язана з появою вихідної події. Повна характеристика події не потрібна. Іноді вона навіть заважає графічній ясності діаграми. Потрібно лише впорядкувати події так, щоб та подія, що стоїть праворуч, залежала від появи події, що стоїть ліворуч. Таким чином, поява вихідної події буде визначатися появою останньої події в ряду N подій. Правило застосування логічного знака I. Якщо є кілька причин, які повинні з'явитися одночасно, то зазвичай використовують операцію I. Входи операції повинні відповідати на запитання: "Що необхідно для появи вихідної події?".

Логічний знак "АБО" (схема об'єднання). Вихідна подія логічного знака АБО настає в тому випадку, якщо має місце будь-яка з вхідних подій.

Правило формулювання подій. Події, вхідні відносно операції АБО, повинні формулю-

Таблиця 1 – Значення логічних символів дерева відмов

№	Символ логічного знака	Назва логічного знака	Причинний взаємозв'язок
1		I	Вихідна подія відбувається, якщо усі вхідні події трапляються одночасно
2		АБО	Вихідна подія відбувається, якщо трапляється будь-яка з вхідних подій
3		Заборона	Наявність входу викликає наявність виходу тоді, коли відбувається умовна подія
4		Приоритетне I	Вихідна подія трапляється, якщо всі вхідні події відбуваються в потрібному порядку зліва направо
5		Виключне АБО	Вихідна подія трапляється, якщо трапляється одна (і тільки одна) з вихідних подій
6		"m з n" (голосування або вибір)	Вихідна подія трапляється, якщо трапляється m з n вхідних подій

ватися так, щоб вони разом вичерпували всі можливі шляхи появи вихідної події. Крім того, будь-яка з вхідних подій повинна призводити до появи вихідної події.

Правило не дає способу опису подій, але воно повинно виконуватися при побудові дерева відмови.

Правило застосування логічного знака АБО. Якщо будь-яка з причин призводить до появи вихідної події, слід використовувати операцію АБО. Входи операції відповідають на запитання: "Які події достатні для появи вихідної події?".

Порядок застосування логічних знаків I та АБО. Для будь-якої події, що підлягає подальшому аналізу, спочатку розглядаються всі можливі події, є входами операції АБО, потім входи операції I. Це справедливо як для головної події, так і для будь-якої події, аналіз якого доцільно продовжити. Причинні зв'язки, виражені логічними знаками I і АБО, є детермінованими, так як поява вихідної події повністю визначається вхідними подіями.

Логічний знак заборони. Шестикутник, що є логічним знаком заборони, розташований в рядку 3, таблиця 1. Значення логічних символів дерева відмов використовується для представлення ймовірних причинних зв'язків. Подія, розміщена під логічним знаком заборони називається вхідною подією, в той час, як подія, розташована збоку від логічного знака, називається умовною подією. Умовна подія приймає форму події за умови появи вхідної події. Вихідна подія відбувається, якщо і вхідна та умовна події мають місце. Іншими словами, вхідна подія викликає вихідну подію з вірогідністю (зазвичай постійною) появи умовної події. Логічний знак заборони часто з'являється в тих випадках, коли подія викликається на вимогу. Він використовується, головним чином, для зручностей та може бути замінений логічним знаком I.

Подія на виході з'являється, якщо події на вході відбуваються в певній послідовності (зліва направо). Поява подій на вході в іншому порядку не викликає події на виході. Розглянемо,

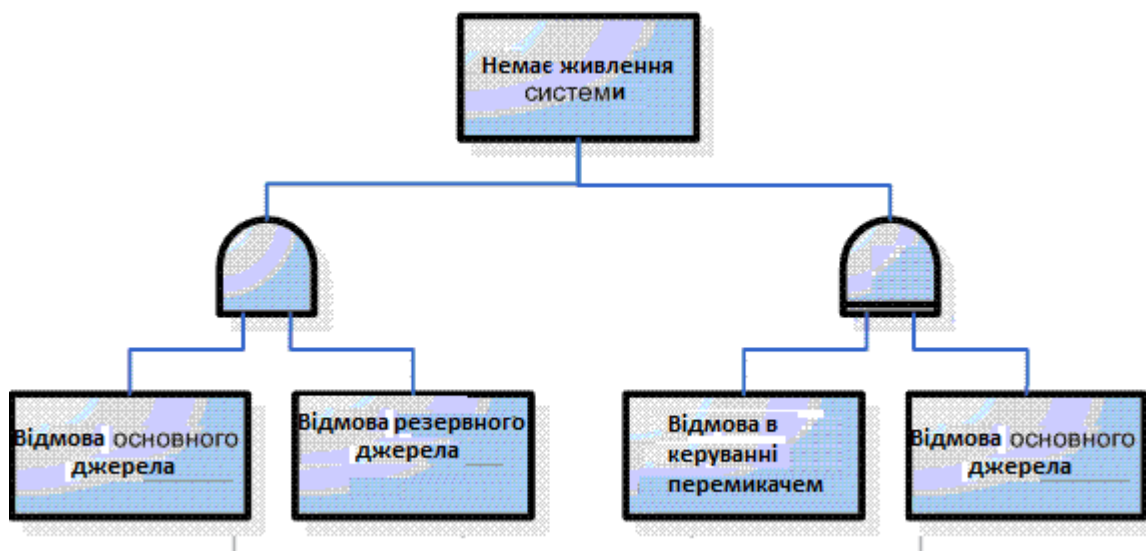


Рисунок 1 – Приклад використання логічного знака «пріоритетне І»

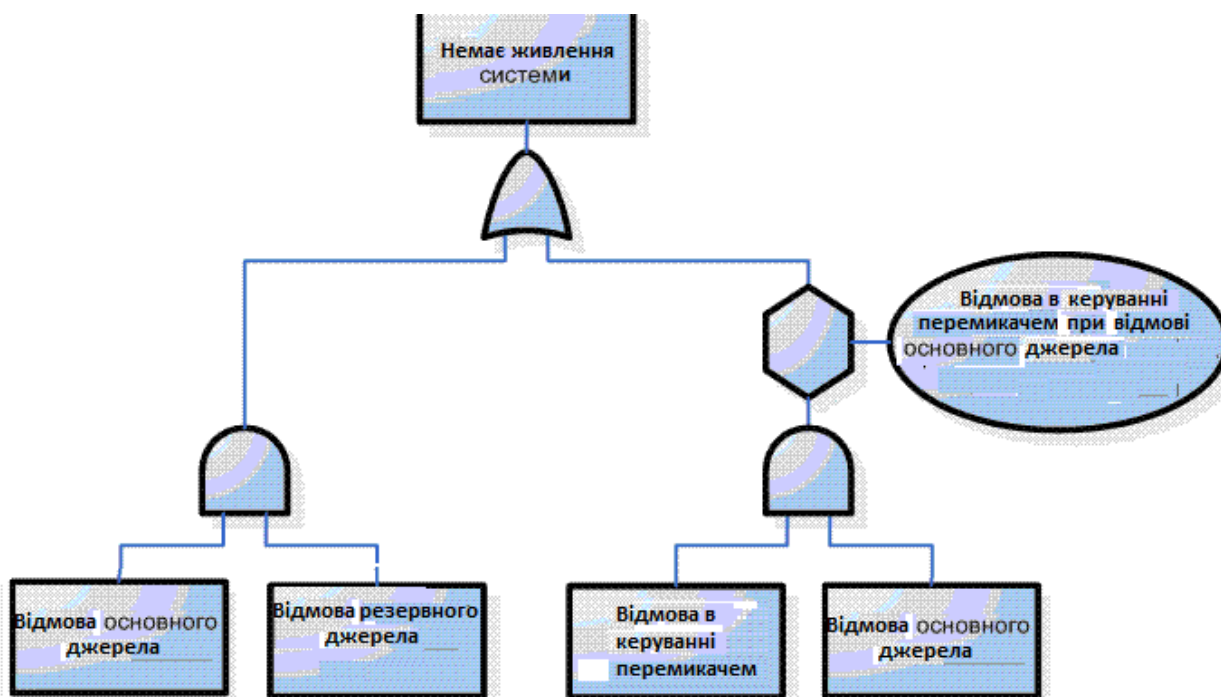


Рисунок 2 – Еквівалентне представлення логічного знака «виключне АБО»

наприклад, систему, що має основне джерело живлення і резервне. Резервне джерело живлення включається в роботу автоматично перемикачем, коли відмовляє основне джерело. Живлення в системі відсутнє, якщо:

- відмовляють як основне, так і резервне джерела;
- спочатку виходить з ладу перемикач, а потім відмовляє основне джерело харчування.

Передбачається, що, якщо за відмовою перемикача слідує відмова основного джерела, це не призведе до втрати харчування за умови нормальної роботи резервного джерела. Логічний символ "пріоритетне І" може бути представлено поєднанням "логічного І" і знака "заборони", а отже, ці логічні знаки є еквівалентом "логічного І". Умовною подією для "логічної заборони"

є те, що вхідні події логічного знака І відбуваються в певній послідовності. Приклад зображено на рисунку 1.

Логічний символ "виключне АБО" (рядок 5 в таблиці 1.) Значення логічних символів дерева відмов описує ситуацію, в якій подія на виході з'являється, якщо одна з двох (але не обидві) події відбуваються на вході. Як приклад, розглянемо систему, яка живиться від двох генераторів. Часткова втрата потужності може бути представлено елементом "виключне АБО". "Що виключає АБО" може бути замінено комбінацією логічних елементів І і АБО, що проілюстровано на рисунку 2.

Еквівалентне представлення логічного знака «виключне АБО». Зазвичай в дереві відмов уникають використання працездатних ста-

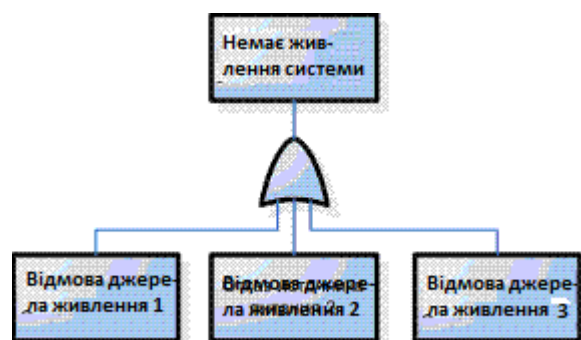


Рисунок 3 – Приклад застосування логічного знака «два з трьох»

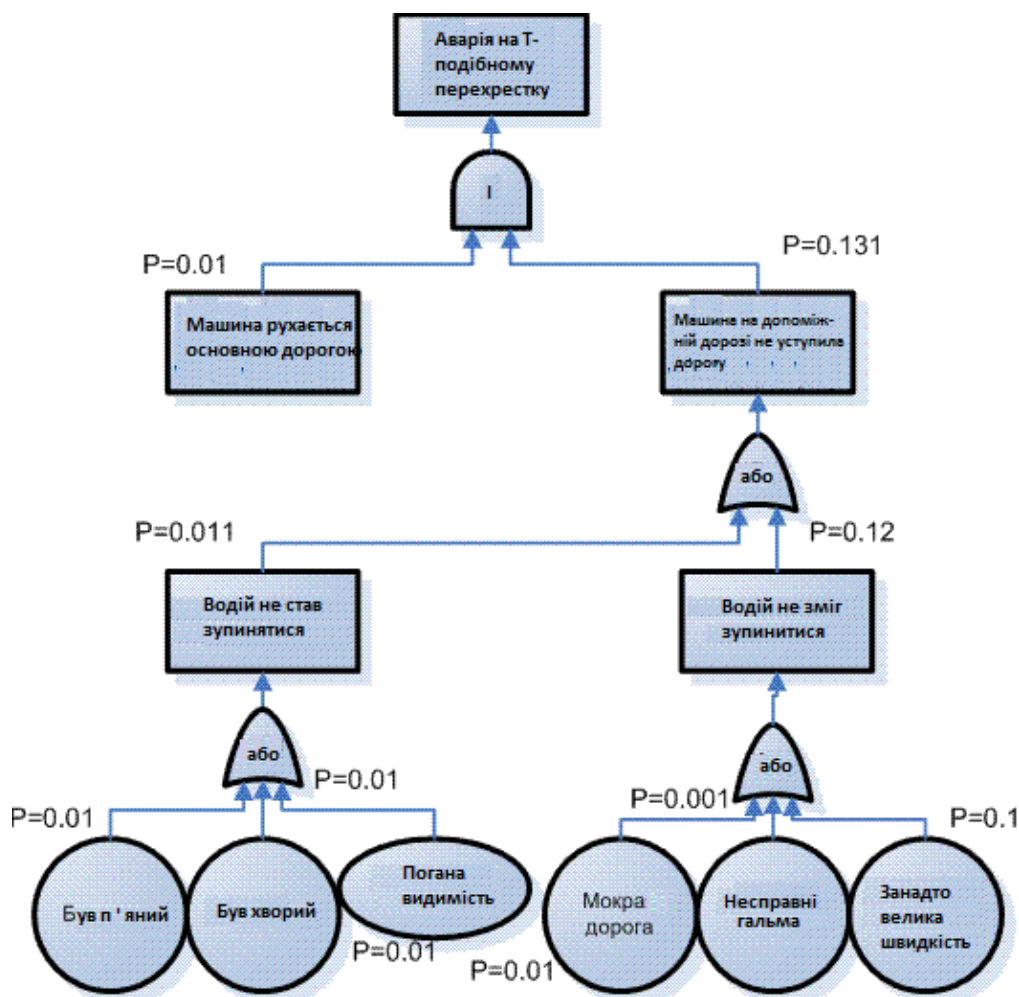


Рисунок 4 – Приклад схеми побудови дерева відмов із зазначенням ймовірності подій

нів, таких як "генератор працює", так як вони в значній мірі ускладнюють кількісний аналіз. Розумним підходом є заміна логічного знака "виключне АБО" комбінацією знаків І та АБО.

Логічний знак голосування m з n (рядок 6 в таблиці 1.) Значення логічних символів дерева відмов має n подій на вході, а подія на виході з'являється, якщо відбуваються щонайменше m з n подій на вході. Розглянемо відмови системи, яка зберігає працездатність до відключення двох з трьох джерел живлення. Припустимо, що вимикання системи відбувається тоді і тільки тоді, коли два з трьох джерел живлення

вийшли з ладу. Таким чином, непотрібне вимикання системи відбувається, якщо два або більше контрольних приладів подадуть помилковий сигнал на виключення, в той час як система перебуває в нормальному стані.

Цю ситуацію можна представити за допомогою логічного елемента "два з трьох", як зображено на рис. 3, а. Елемент голосування (вибору) еквівалентний комбінації з логічних елементів І і АБО.

Так само зручно використовувати дерево відмов у поєднанні з ймовірностями виникнення тих чи інших подій. Приклад такого дерева



Рисунок 5 – Умовна схема побудови дерева відмов

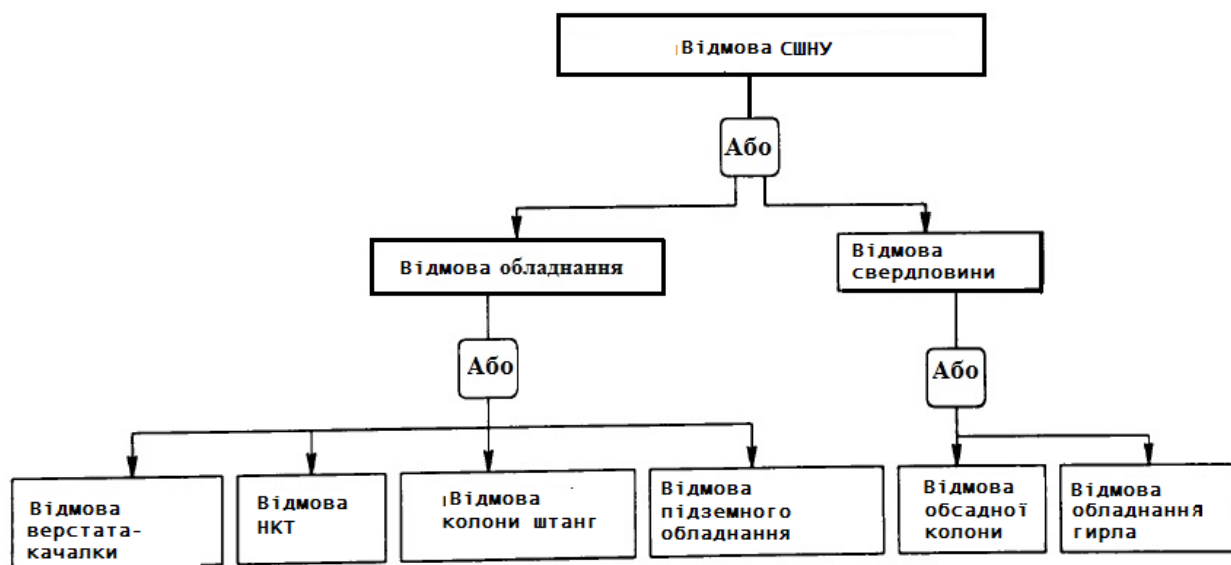


Рисунок 6 – Дерево відмов СШНУ

наведено для аналізу причин автомобільних аварій на Т-подібному перехресті, який зображено на рисунку 4.

Метод аналізу дерева сприяє ретельному аналізу причин відмов технічних систем і вживання заходів, найбільш ефективних для їх усунення. Такий аналіз проводять для кожного періоду функціонування, кожної частини або системи в цілому.

Штангові насосні установки є найбільш широко використовуваними в світі для механізованого видобутку нафти. Відмови штангових колон тягнуть за собою значні втрати.

Долинський нафтопромисловий район є одним з найбільших баз видобутку нафти в Україні. Важливо гарантувати надійну роботу штангових систем при видобуванні нафти. Нафтові компанії в даний час прагнуть розробити заходи щодо зниження відмов штангових насосних систем. Є багато методів, які використовуються для визначення несправностей в штангових насосних системах, але більшість з них працюють тільки в деяких випадках. Використання ФТА для аналізу відмов системи штангових установок призведе до поліпшення процесу прийняття рішень. Коли цей метод буде реалізовано, як очікується, то можна буде з'ясувати основні причини відмов для різних НГВУ, так і для різних виробничих підрозділів, і зробити

штангові насосні системи більш ефективними і дієвими.

Відмови штангових насосних свердловин є небажаними подіями. Такі події зазвичай виникають у штангових насосних системах, в яких неодноразово проводився ремонт.

Проаналізувавши попередні відмови насосних штанг в минулому, записи відмов свідчать, що системи та події можуть претендувати на застосування методу (аналіз дерева відмов) - ФТА. При визначенні небажаної події, в першу чергу, необхідно визначити всі небажані події в операційній системі. Грунтовний аналіз відмов системи представлено на рис. 5-6.

Після визначення небажаної події, наступним завданням є отримання уявлення про систему обрану для ФТА. Важливою частиною цього етапу є отримання знань про систему операцій і взаємодій. Вся доступна інформація про систему та її навколишнє середовище повинна бути вивчена. Така інформація повинна включати креслення, макети, схеми, специфікації, фотографії, інструкції з експлуатації і інформацію, отриману від досвідчених працівників. Будь-які дані системи можуть бути корисні.

Побудова дерева відмов є логічним процесом, який вказує на всі можливі причини небажаних подій. Процес починається з небажаної

події, тут відмови ШСНУ, у верхній частині дерева. Міркуючи в зворотному напрямку від вершини подій, події, які можуть прямо призвести до верхньої небажаної події зображені безпосередньо під ним. Вони є ввідними подіями до верхньої події.

Процес продовжується для кожної події, визначається і закінчується з незалежною або нерозвиненою подією. Протягом усього процесу логічно виявити, як ввідні події взаємодіяли для отримання кожної вихідної події. Дерево відмов для штангових насосних систем зображено на рис. 5-6.

Оцінка дерева відмов. Після побудови дерева відмов наступним кроком є його оцінка.

Під час оцінки дерева відмов визначають обставини, за яких може статись кожна з наступних подій. На основі розроблення цих визначень також оцінюється відносна можливість чи ймовірність появи цих незалежних чи можливих подій. Ймовірність знаходять з результатів випробувань, досвіду, опублікованих даних, записів відмов, поломок чи експертною оцінкою. Ця можливість вихідних подій безпосередньо над наступною (нижньою) подією потім визначається з ймовірності відмови. Процес (оцінка) продовжується вгору по дереву до тих пір, поки не буде визначено можливість небажаної події, яка показана на вершині дерева.

При побудові і спрощенні ймовірностей дерева відмов можуть бути використані математичні методи, які дають змогу виконати їх кількісну оцінку. Необхідно визначити багато чинників: загальну ймовірність небажаної події; комбінацію подій, які найбільш ймовірно призведуть до небажаної події; події, що найбільше сприяють цій комбінації, а також найбільш ймовірні наслідки події чи шляхи до вершини дерева відмов.

Ймовірність відмови на будь-якому рівні $P(t)$ може бути розраховано за допомогою на наступних рівнянь:

для входів АБО дерева відмов

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) = \sum_{i=1}^n 1 - R_i(t), \quad (1)$$

для входів І дерева відмов

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n 1 - R_i(t), \quad (2)$$

$$R_i(t) = e^{-\lambda_i t},$$

де $P_i(t)$ - ймовірність відмови i -го компонента на наступному нижньому рівні;

$R_i(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи i -го компонента;

t - час роботи компонента;

λ_i - інтенсивність відмов i -го компонента (константа оцінки, отримана на основі досвіду експлуатації об'єкта);

n - кількість компонентів на наступному нижньому рівні.

Ймовірність безвідмовної відмови системи $R_c(t)$ визначається використанням ймовірності відмови системи $P_c(t)$:

$$R_c(t) = 1 - P_c(t). \quad (3)$$

Використовуючи вищесказану методичку оцінки, надійність будь-якої системи може бути оцінена у ймовірнісному аспекті, і це може бути використано для керування операціями і прийняттям рішення. Детальні дані по відмовам представлені нафтовидобувними організаціями і тому нами використано наявні статистичні дані для виконання аналізу дерева відмов. Для кращого аналізу цих даних ми скористались новим підходом для оцінки дерева відмов (рис. 7-8).

Дані по відмовах ШСНУ, зібрані в НГВУ ДНГ та БНГ містять частоту відмов різних частин в різні часи і є основою для різних типів відмов. Загальною для всіх типів відмов, що може служити середньою величиною для розрахунку ймовірності відмов всіх типів ШСНУ в різні роки, можна скористатись для побудови дерева відмов. Відповідно ці дані є основою для розрахунку ймовірності відмови. Дерево відмов було побудовано на основі вищевказаних даних і представлено на рис. 7-8.

Керування відмовами

На основі оцінки дерева відмов можна визначити появу події, яка може призвести до небажаного порушення роботи. Таким чином відносно просто ідентифікувати події, які треба уникнути і робити вплив, щоб зменшити небажану подію. На основі оцінки можна зробити висновок, що насос має найвищу інтенсивність відмов і це означає, що коли настає зупинка ШСНУ, то першим розглянемо висновок, яким має бути відмова насоса і при роботі чи прослуванні нам потрібно зробити наголос саме на свердловинний насос. Різні компанії в різних регіонах можуть мати різну частоту відмов насосів штанг і НКТ. Потрібно побудувати дерево відмов і оцінити його, а потім треба вжити заходи, щоб усунути чи зменшити причину відмов і, таким чином, уникнути зупинки установок. ШСНУ може мати різні дерева відмов, тобто для різних типів ШСНУ чи свердловинного обладнання. Вплив на частоту відмов може бути виконано на основі інженерних, навчальних та адміністративних заходів. Інженерні заходи, як правило, спрямовані на оптимізацію систем та робочих середовищ. Навчальні заходи часто керують відмовами, залучаючи відношення до роботи і майстерність операторів на промислі. Відповідне навчання і тренування можуть змінити поведінку оператора та підвищити ефективність системи. Потрібно мати відповідну програму-тренінг, коли впроваджують нову систему насосного обладнання. Адміністративні заходи часто застосовують зміну методів і процедур при роботі ШСНУ. В той же час стаються відмови, на які не можна впливати вищевказаними заходами. Тому певні захисні засоби повинні бути вмонтованими в насосну установку.

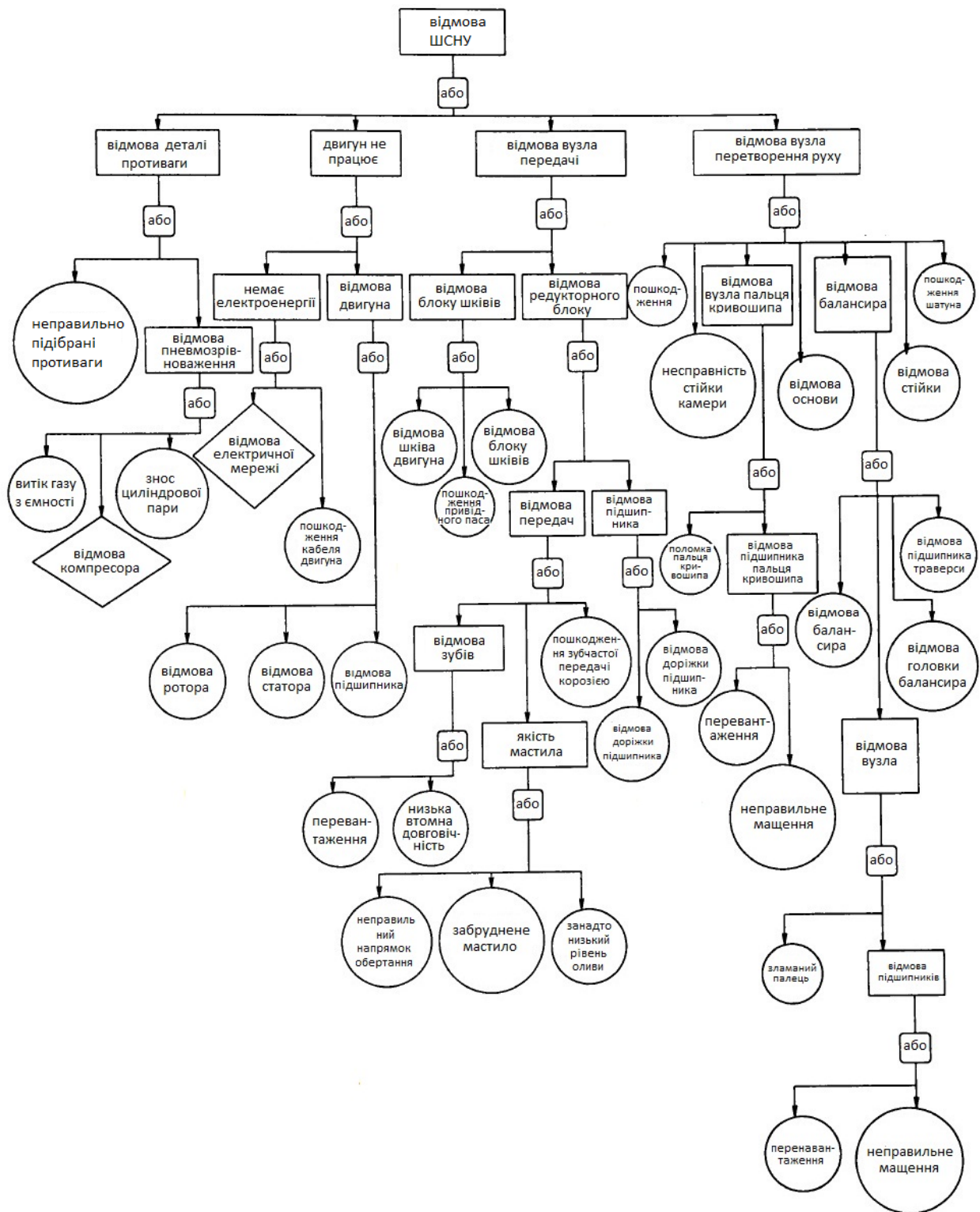


Рисунок 7 – Дерево відмов верстата-гойдалки

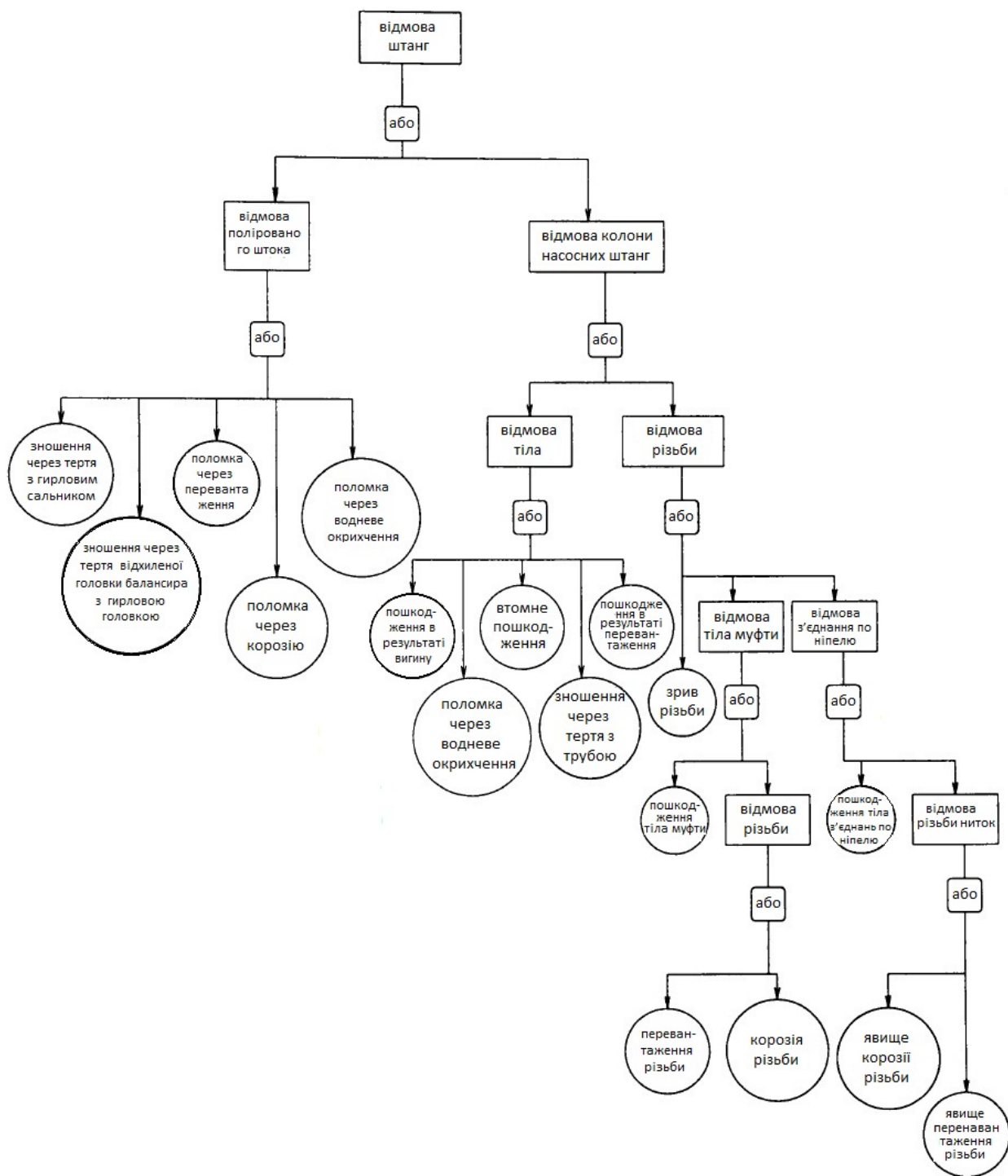


Рисунок 8 – Дерево відмов колони насосних штанг

Недоліки дерева відмов полягають у наступному:

- реалізація методу вимагає значних витрат коштів і часу.
- дерево відмов являє собою схему булевої логіки, на якій відображено тільки два стани: робочий та стан відмови;
- важко врахувати стан часткової відмови елементів, оскільки при використанні методу, як правило, вважають, що система знаходиться або в справному стані, або в стані відмови;
- труднощі в загальному випадку аналітичного рішення для дерев, що містять резервні вузли та відновлювані вузли з пріоритетами, не кажучи вже про ті значні зусилля, які потрібні для охоплення всіх видів множинних відмов;
- вимагає від фахівців з надійності глибокого розуміння системи і конкретного розгляду кожного разу тільки однієї певної відмови;
- дерево відмов описує систему в певний момент часу (зазвичай в сталому режимі), і послідовності подій можуть бути показані з великими труднощами, іноді це виявляється неможливим. Це справедливо для систем, що мають складні контури регулювання, в таких випадках, як правило, беруть до уваги методи, засновані на стохастичних (випадкових) процесах.

Висновки

На основі оцінки дерева відмов можна визначити появу події, яка може призвести до небажаного порушення роботи. Потрібно побудувати дерево відмов і оцінити його, а потім треба вжити заходи, щоб усунути чи зменшити причину відмов і, таким чином, уникнути зупинки установок.

Література

- 1 Антон Алексеев. ФТА. Дерево отказов, как метод структурного анализа. 05.03.2009. – IT Expert. Источник: www.itexpert.ru – 8 с.
- 2 Сидоров В.А. Техническая диагностика механического оборудования / В.А. Сидоров, В.М.Кравченко, В.Я.Седушо – Донецк: Новый мир, 2003. – 125 с.
- 3 Zhanyu Ge. Statistical analysis of sucker rod pumping failures in the Permian basin, B.S.E., M.S.E. a thesis in Petroleum Engineering May, 1998, – 156 pp.
- 4 West Texas Geological Society, Permian Basin Oil and Gas Fields, Fall Symposium, Publication No. 96-101, Oct. 31- Nov. 1, 1996, p.8.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
27.04.13*

*Рекомендована до друку
професором Івасівим В.М.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором Хоминцем З.Д.
(ТЗОВ «ЕМПІ-сервіс», м. Івано-Франківськ)*