

VITALII PANCHUK  
OLEH ONYSKO  
TETIANA LUKAN  
IULIIA MEDVID

## Teoretyczne badania zależności wkręcania zworników w rurach wiertniczych od profilu krawędzi skrawania noża tokarskiego

*Kolumna wiertnicza składa się głównie z rur wiertniczych i łączników między nimi. Złącza te są nazywane zwornikami. Skręcanie i odkręcanie to główny parametr wpływający na jakość zworników. Ten parametr pokazuje, jaka liczba powtórzeń skręcania-odkręcania połączenia złączy wiertniczych jest dopuszczalna w procesie wiercenia otworów naftowych i gazowych. Wykręcanie i odkręcanie zworników określa specjalne kryterium – różnica między końcową powierzchnią mufy a czopem. Różnica ta zmniejsza się podczas określonej liczby operacji skręcania i odkręcania. To kryterium proporcjonalnie zależy od wysokości roboczej gwintu stożkowego ( $h$ ), który zmniejsza się podczas wiercenia. Dlatego autorzy proponują zwiększenie początkowej jego wartości. Można to zrealizować bez naruszania standardu, ale w wyniku zastosowania zmodernizowanego profilu narzędzia do gwintowania. Zapewnia to zwiększenie liczby skręcania/odkręcania zworników, zwiększenie szczelności zwornika rur wiertniczych, w którym stabilność technologiczna narzędzia skrawającego jest taka sama. W rezultacie trwałość tej złączki może wzrosnąć o 9–14%, a jej cena pozostanie bez zmian.*

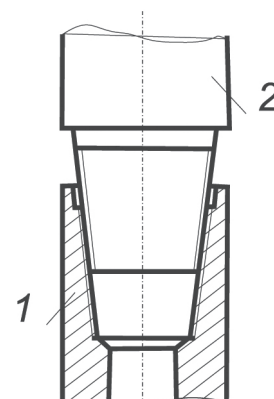
Słowa kluczowe: rura wiertnicza, zwornik, mufa, czop, wkręcanie, nóż tokarski, okres trwałości

### 1. WPROWADZENIE

Podstawową częścią przewodu wiertniczego jest kolumna rur płuczkowych. Struktura kolumny rur płuczkowych zawiera elementy, które łączą rury między sobą i innymi obiektami. Elementy te nazywane są łącznikami przewodu wiertniczego albo wprost zwornikami. Rysunek 1 pokazuje schemat zwornika. Czop (2) jest wystającą częścią gwintowaną na jednym końcu rury, a mufa (1) jest zagłębioną częścią gwintowaną na drugim końcu rury. Każdy zwornik składa się z dwóch części: czopa i mufy. Jednym ze wskaźników jakości zworników przewodu wiertniczego jest wkręcalność, czyli wartość określająca liczbę poprawnych wkręceń i odkręceń.

Takie operacje zawsze towarzyszą procesowi opuszczania i podnoszenia rur wiertniczych. Zazwyczaj

w przypadku nowych rur płuczkowych wartość ta wynosi do 8–10 operacji skręcania i odkręcania, po czym rury te są odrzucone.

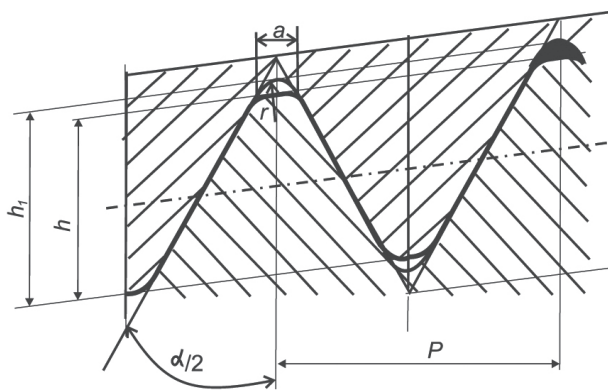


Rys. 1. Schemat zwornika do rur płuczkowych:  
1 – mufa, 2 – czop

## 2. SZCELINA W POŁĄCZENIU GWINTOWYM ZWORNIKA PRZEWODU WIERTNICZEGO

Profil gwintu połączenia zwornika przewodu wiertniczego zgodnie ze standardem [1] i API-7 (American Petroleum Institute) pokazano na rysunku 2.

Gwint połączenia zwornika przewodu wiertniczego jest określony przez następujące parametry:  $h_1$  – wysokość profilu gwintu [mm];  $h$  – wysokość robocza profilu gwintu;  $P$  – skok gwintu;  $a$  – szerokość wierzchołka gwintu;  $\alpha/2$  – pół kąta profilu gwintu.



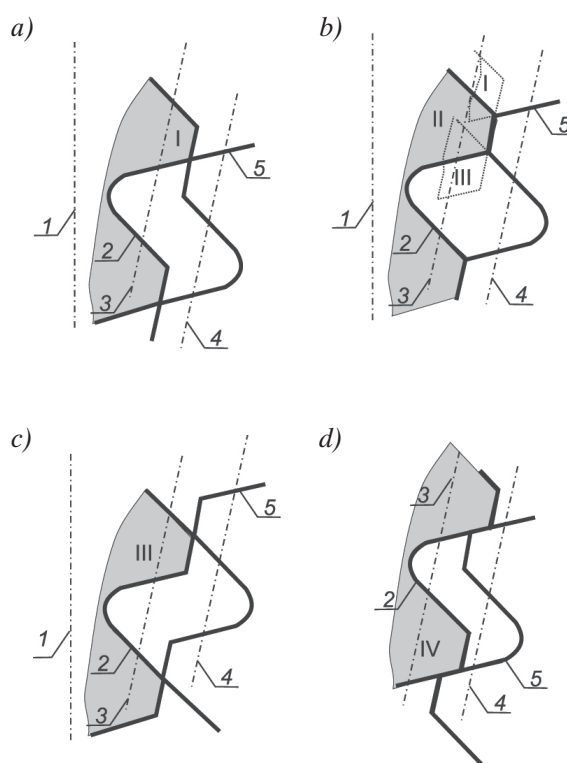
Rys. 2. Schemat gwintu stożkowego zwornika przewodu wiertniczego zgodnie ze standardem API 7

Zgodnie z tym standardem zawsze istnieje luka strukturalna między czopem i mufą, której szerokość jest oznaczona literą  $a$ . W prawej części wykresu określona szczelina jest pomalowana na czarno. Ta luka zgodnie ze standardem ma cel technologiczny. Wartości  $h$ ,  $h_1$ ,  $a$  są opcjonalne i są przeznaczone do zaprojektowania noża do nacinania gwintów połączenia zwornika. Zdaniem autorów [2] istnienie tej luki jest jedną z najważniejszych przyczyn utraty szczelności zwornika, szczególnie po 3–4 operacjach wkręcania. W artykule [3] mówi się, że gdy wartość  $a$  zmniejszy się od standardowej wartości 1,6 mm do proponowanej przez autorów wartości 1 mm, prędkość wycieku płuczki wiertniczej z odwiertu zmniejsza się z 30–50 m/min do 1 m/min. W pracy [4] proponuje się zmniejszenie wysokości szczeliny z 0,45 mm na 0,15 mm. Ale w związku z tym naddatek zostanie znacznie zredukowany i zgodnie z nim zmaleje okres trwałości noża.

Aby zapewnić wysoki okres trwałości noża, zaleca się stosowanie noża z niezerową wartością kąta natarcia, chociaż popularne firmy nie mają w aktualnej ofercie noża do nacinania gwintów z dodatnimi lub ujemnymi wartościami kąta natarcia w punkcie naroża [5].

## 3. ANALIZA WARIANTÓW POCZĄTKOWEGO ZETKNIĘCIA ZWOJÓW W MOMENCIE MONTAŻU CZOPA W MUFIE

Proces wkręcania poprzedza proces ustawiania czopa w mufie. W pracy [6] rozważa się cztery warianty początkowego zetknięcia zwojów gwintu w momencie instalacji czopa w mufie. Rysunek 3 pokazuje te cztery opcje. Opcja a ilustruje pozycję I. W tym położeniu i w położeniach II i III (warianty b i c) kontakt między zwojami znajduje się na wierzchołku zwoju gwintu. W wariantcie d – położenie IV ilustruje kontakt z bocznymi powierzchniami pomiędzy czopem a mufą.



Rys. 3. Schematy początkowego kontaktu zwojów gwintu w momencie montażu czopa w mufie: 1 – oś gwintu, 2 – kontur zwoju gwintu czopa, 3 – średnica podziałowa gwintu czopa, 4 – średnica podziałowa gwintu mufy, 5 – kontur zwoju gwintu mufy

W momencie montażu czopa w mufie pod wpływem ciężaru wszystkich rur kolumny wiertniczej przykręconych jedna z drugą powstaje ciśnienie, które zależy od ciężaru kolumny wiertniczej i obszaru styku między mufą a czopem. Największe ciśnienie odpowiada najmniejszemu obszarowi, który jest oczywiście w pozycjach I i III (warianty a, c na rys. 3). Nieco większa powierzchnia kontaktu znajduje się w pozycji II (opcja b).

Opcja d zapewni największy obszar styku i odpowiednio najmniejsze ciśnienie wytworzone przez ciężar kolumny wiertniczej. Zużycie powierzchni gwintu zależy od ciśnienia. Opcja d ilustruje pozycję IV, która zapewnia najmniej intensywne zużycie. Przy wielokrotnym montażu czopa w mufie największe zużycie powierzchni jest widoczne na wierzchołkach nawoju gwintu, następnie na bokach, zaś najmniejsze – u podstawy nawoju gwintu.

#### 4. KRYTERIUM ODRZUCANIA ZWORNIKÓW

Jako kryterium odrzucania gwintów stożkowych najczęściej stosowany w praktyce wiercenia, jest pomiar odległości  $H$  (rys. 4) pomiędzy podpartym końcem czopa 2 a końcem mufy 1 w czasie instalowania jednego z drugim przed wkręceniem [6]. Zastosowanie kryterium  $H$  i specjalnego szablonu przedstawiono na rysunku 5. Numer 1 to mufa, a numer 2 to szablon. Gdy strona boczna gwintu  $e$  i wysokość jego profilu  $b$  maleją, wartość  $H$  również maleje i teoretycznie może zbliżyć się do zera. Można go zdefiniować za pomocą wzoru:

$$H = \frac{2h}{K} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

gdzie:

- $K$  – wielkość stożka gwintu,
- $h$  – wysokość robocza gwintu stożkowego.

Liczba obrotów ( $m$ ), która musi zostać wykonana w celu pełnego skręcenia elementów połączenia gwintowego, zależy od wysokości roboczej gwintu stożkowego ( $h$ ) oraz od wielkości stożka gwintu ( $K$ ) [6]. Można go zdefiniować za pomocą wzoru:

$$m = \frac{2h}{KP} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

gdzie  $P$  – skok gwintu.

Wzory (1) i (2) odpowiadają definicji kryterium odrzucania zworników  $H$  dla schematów pierwszego kontaktu czopa z mufą I, II, III (patrz rys. 3).

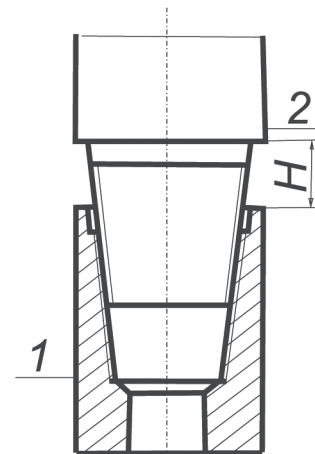
Rysunek 6 schematycznie ilustruje kontur gwintu  $ABCDEF$  w mufie, a także wierzchołek czopa w jego początkowych wariantach styku z mufą I, II, III. Parametr  $x$  reguluje pozycję wierzchołka w procesie wkręcania od początkowego styku i do momentu, gdy jego linia  $LF$  pokrywa się z linią  $DE$  na podstawie mufy.

Wartość  $x$  można określić za pomocą formuły:

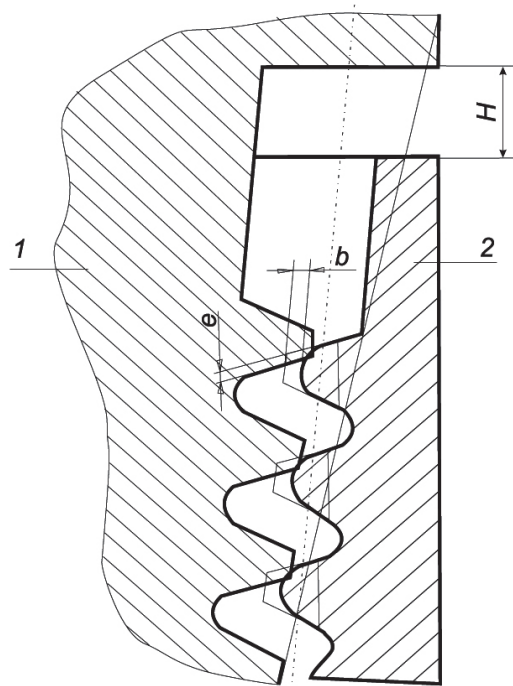
$$x = \frac{KP_1}{2} m = P \frac{K}{2} \left( 1 - \frac{K}{2} \tan \alpha \right) m \quad [\text{mm}]$$

gdzie:

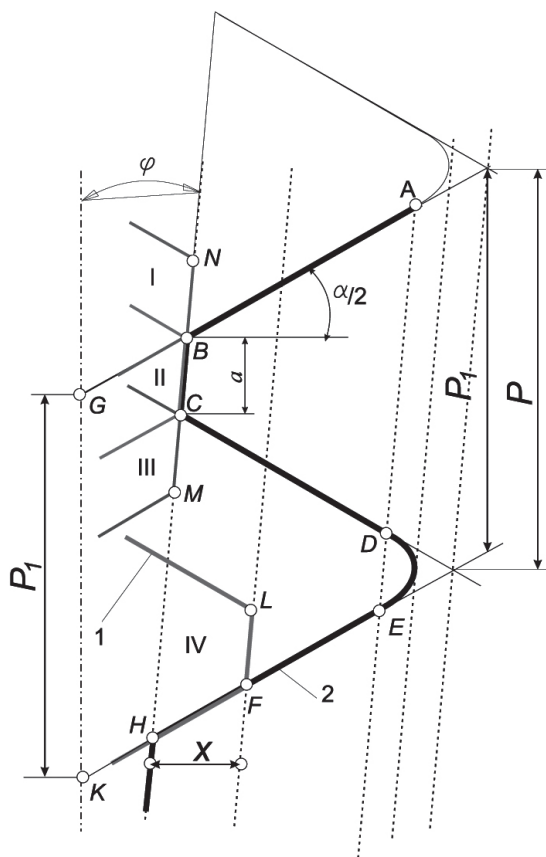
- $K$  – wielkość stożka gwintu,
- $P_1$  – skok pomiędzy dużymi bokami gwintu (odpowiadający segmentowi  $GK$  na osi zwornika),
- $m$  – liczba obrotów wkręcania,
- $\alpha$  – kąt zarysu gwintu ( $60^\circ$ ).



Rys. 4. Schemat wyznaczenia kryterium  $H$  dla gwintów stożkowych zwornika



Rys. 5. Schemat wyznaczenia kryterium  $H$  dla gwintów stożkowych zgodnie z szablonem



Rys. 6. Schemat wariantów styku zwojów gwintu w momencie montażu czopa w mufie oraz podczas wkręcania

W tym przypadku odległość między końcami czopa i mufy  $H_m$  w procesie ich wzajemnego połączenia zostanie zmieniona zgodnie z następującym wzorem:

$$H_m = \frac{2(h-x)}{K} \quad [\text{mm}]$$

Rysunek 7 ilustruje pozycję czopa, który wchodzi w kontakt z mufą na jej powierzchni bocznej. Ciemniejszy kolor odpowiada pozycji czopa w początkowej chwili kontaktu (jak w pozycji IV na rys. 3). Aby poprawić utrzymanie początkowej pozycji w schemacie, zastosowano sekcję  $CL$  równoległą do osi gwintu. Pozycja ta charakteryzuje się parametrem  $x_0$ , którego maksymalną wartość można określić za pomocą następującego wzoru:

$$x_0 = \frac{K}{2}(P-2a) \left(1 - \frac{K}{2} \tan \alpha\right) m \quad [\text{mm}]$$

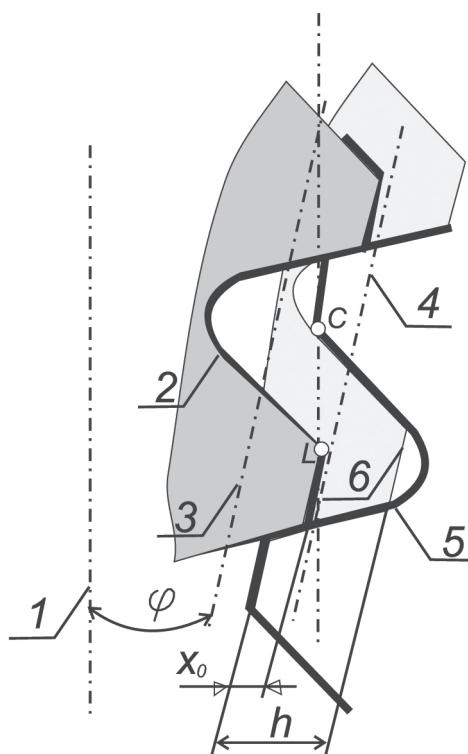
gdzie  $a$  – szerokość płaskiej części wierzchołka gwintu, która na rysunku 6 odpowiada długości sekcji  $BC$ .

Zgodnie z określoną pozycją czopa można znaleźć wartość kryterium odrzucenia  $H_{\min}$ , które odpowiada pozycji IV według wzoru:

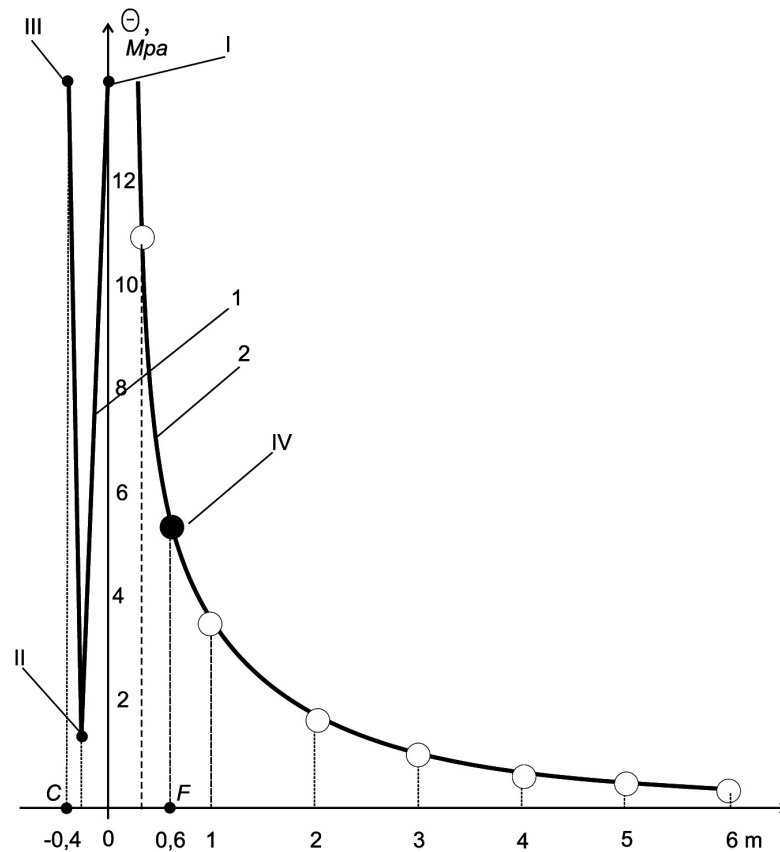
$$\begin{aligned} H_{\min} &= \frac{2(h-x_0)}{K} = \\ &= \frac{2h}{K} - (P-2a) \left(1 - \frac{K}{2} \tan \alpha\right) \quad [\text{mm}] \end{aligned} \quad (3)$$

Ciemniejszy kolor ilustruje schematyczne położenie czopa w momencie zakończenia jego dokręcania z mufą. Liczbę obrotów  $m_{\min}$  potrzebnych do ukończenia wkręcania czopa po zamontowaniu czopa w mufie lub szablonie, co odpowiada pozycji IV, można określić za pomocą wzoru:

$$\begin{aligned} m_{\min} &= \frac{2(h-x_0)}{KP} = \\ &= \frac{2h}{KP} - \left(1 - \frac{2a}{P}\right) \left(1 - \frac{K}{2} \tan \alpha\right) \quad [\text{mm}] \end{aligned} \quad (4)$$



Rys. 7. Początkowy i końcowy moment dokręcania czopa z mufą: 1 – oś gwintu, 2 – kontur zwoju gwintu czopa, 3 – średnica podziałowa gwintu czopa, 4 – średnica podziałowa gwintu mufy, 5 – kontur zwoju gwintu mufy, 6 – kontur zwoju gwintu czopa w końcowy moment dokręcania czopa z mufą



**Rys. 8.** Zmiana ciśnienia na powierzchni gwintu zwornika 5 1/2 FH pod wpływem ciężaru kolumny wiertniczej w procesie wkręcania różnych schematów pierwszego kontaktu zwojów: 1 – przy pierwszym kontakcie czopa i mufy tylko na wierzchołkach (przepisy I, II, III), 2 – przy pierwszym kontakcie czopa i mufy na powierzchni bocznej gwintu

Rysunek 8 pokazuje wykres zmiany ciśnienia na powierzchni gwintu pod wpływem ciężaru kolumny, który jest zależny od położenia czopa w jego początkowym momencie kontaktu z mufą przed wkręceniem i w procesie od początku do końca wkręcania [6]. Punkty C i F ograniczają etap ustawiania czopa w mufie do następnego – kroku – rzeczywistego wkręcania. Wykres pokazuje, że początkowe położenie czopa przed wkręceniem jest poddawane wartościom ciśnienia, które są większe (pozycje I, II, III) lub są współmierne do ciśnienia występującego podczas samego procesu wkręcania.

Maksymalna wartość kryterium odrzucenia właściwie może być określona za pomocą tej samej formuły (1):

$$H_{\max} = \frac{2h}{K} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

Maksymalna wartość liczby obrotów również może być określona za pomocą tej samej formuły (2):

$$m_{\max} = \frac{2h}{KP} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

## 5. PROFIL KRAWĘDZI SKRAWAJĄCEJ NOŻA TOKARSKIEGO Z NIEZEROWĄ WARTOŚCIĄ KĄTA NATARCIA DO NACINANIA GWINTÓW ZWORNIKÓW

W artykule [7] mówi się, że na podstawie algorytmu [8] stworzono specjalne zastosowanie do określania półkąątów profilu krawędzi skrawającej noża tokarskiego z niezerową wartością kąta natarcia do nacinania gwintów zworników wszystkich standardowych rozmiarów. Otrzymane wyniki pozwalają zaprojektować proces technologiczny nacinania gwintów, w którym nóż tokarski z obliczonym profilem krawędzi skrawającej jest wykonywany ze znacznym statycznym kątem natarcia w wierzchołku ostrza, a jednocześnie początkowe odchyłki profilu gwintu znajdują się w granicach tylko do 10–15% od całej tolerancji na wartość półkąta profilu gwintu. Artykuł [9] udowadnia, że odchyłka półkąta profilu gwintu zwornika nie przekracza  $0,16^\circ$ , jeżeli wartość statycznego kąta natarcia w punkcie wierzchołkowym noża leży w zakresie od  $-5^\circ$  do  $5^\circ$ , podczas gdy profil narzędzia pozostaje taki sam jak profil powierzchni gwintu. Według autorów [10], okres trwałości

noża o wartości kąta natarcia  $-5^\circ$  może znacznie wzrosnąć, a tym samym zapewnić zwiększoną produktywność procesu nacinania zamkniętych powierzchni podstaw gwintu. Wzory wskazują, że głównym zasobem zwiększającym wartości kryteriów  $H_{\min}$  i  $H_{\max}$  są wartości  $h$  i  $a$ , które mogą powstawać z powodu zmian w profilu krawędzi skrawającej noża.

## 6. CEL PRACY

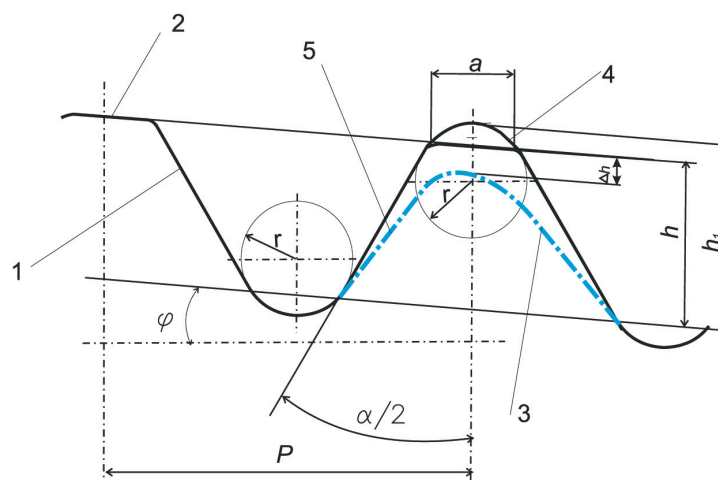
Celem pracy była aktualizacja profilu krawędzi skrawania ostrza noża, aby zwiększyć wkręcalność stożkowego gwintu łącznika przewodu wiertniczego i jednocześnie zwiększyć jego szczelność, zapewniając wymagany okres trwałości noża do nacinania tego gwintu.

## 7. SPOSÓB NA OSIĄGNIĘCIE CELU

Graficzna i analityczna zależność wartości kryteriów odrzucania  $H_{\min}$  i  $H_{\max}$  oraz liczby obrotów do ukończenia wkręcania  $m_{\min}$  i  $m_{\max}$  od parametrów profilu krawędzi skrawającej noża została otrzymana dzięki zmianie jego optymalnych rozmiarów  $h$  i  $a$  oraz z zastosowaniem niezerowej wartości jego statycznego kąta natarcia. Pozwoliło to zapewnić niezbędną trwałość noża tokarskiego.

## 8. ANALIZA GRAFICZNA CHARAKTERU ZUŻYCIA GWINTU POŁĄCZENIA ZWORNIKA

Rysunek 9 przedstawia diagram ilustrujący naturalne zużycie gwintu połączenia w zworniku.



Rys. 9. Schemat ilustrujący graficznie kształt zużytej powierzchni gwintu zwornika w wyniku nacisków stykowych i tarcia jego powierzchni podczas montażu czopa w mufie i ich skręcania: 1 – większa strona profilu w standardzie, 2 – wierzchołek gwintu zgodny ze standardem, 3 – profil większego boku zwoju po dłuższej eksploatacji, 4 – standardowa podstawa powierzchni gwintu, 5 – profil mniejszego boku zwoju po dłuższej eksploatacji

Występuje ono w wyniku wielokrotnego powtarzania procesów:

- 1 – instalacji czopa w mufie,
- 2 – ich skręcania (pasowanie luźne),
- 3 – ich dalszego dokręcania w celu połączenia typu dociskowego (pasowanie ciasne).

Proces 1 (instalacji czopa w mufie) odpowiada schematom pierwszego kontaktu czopa z mufą. Na rysunku 8 jest to przedstawione graficznie, argumentem jest liczba obrotów wkręcania  $m$  między punktami  $C$  i  $F$ . W wyniku tego procesu zużycie następuje głównie na wierzchołku gwintu zgodnie ze schematami początkowego kontaktu I, II, III (patrz rys. 3a–c). Rysunek 9 ilustruje zmniejszenie wysokości roboczej profilu gwintu zwornika o wartość  $\Delta h$ . Ta wartość jest graficznie większa niż boczne odchylenia powierzchni gwintu od ich standardowego kształtu, które są oznaczone linią czarną.

W procesie 1 instalacja może również odbywać się na powierzchni bocznej, co oznacza, że początkowy kontakt następuje zgodnie ze schematem IV. Odpowiada to części wykresu, w której wartości argumentów odpowiadają punktom znajdującym się po lewej stronie punktu  $F$ , ale po prawej stronie punktu 0 (patrz rys. 8).

Ponieważ kontakt czopa z mufą odbywa się dokładnie po większym boku gwintu połączenia, diagram graficznie podkreśla większe odchylenie od wartości nominalnej większej strony (linia 3) niż mniejszej (linia 5).

Proces 2 – wkręcanie, podczas którego realizowany jest ruchomy kontakt z dużymi bokami powierzchni gwintowej czopa i mufy oraz ich zużycie z powodu tarcia pod naciskiem ciężaru kolumny. Proces odpowiada części wykresu na rysunku 8, reprezentowanej przez punkty, które znajdują się po prawej stronie punktu  $F$ .

Rysunek 9 tego procesu odpowiada linii, która w największym stopniu odbiega od wartości nominalnej większego boku profilu (linia 3) niż strona mniejsza (linia 5).

Proces 3 – dokręcanie w celu połączenia typu dociskowego (pasowanie ciasne) występuje, gdy czop i mufa stykają się małymi bokami powierzchni gwintu, co powoduje ich znaczne deformacje. W ramach tego artykułu nie jest brany pod uwagę.

Rysunek 9 ilustruje zużycie wierzchołka i boków powierzchni gwintowej, a podstawa, zgodnie z praktyką wiercenia i specjalnych badań rur wiertniczych [6], pozostaje stosunkowo nowa.

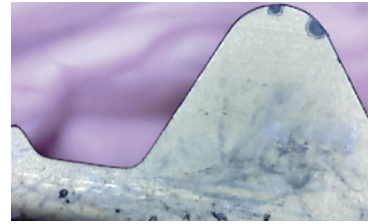
### 9. BADANIA PROFILU KRAWĘDZI SKRAWANIA NOŻA DO PRODUKCJI POWIERZCHNI GWINTOWYCH POŁĄCZENIA RUR WIERTNICZYCH

Rysunek 10 pokazuje w dwudziestokrotnym powiększeniu zdjęcie krawędzi skrawającej nowego noża do toczenia gwintów zworników rur wiertniczych kształtu IV, która jest najczęściej stosowana w praktyce wiercenia. Jest to nóż o pełnym profilu krawędzi skrawania.

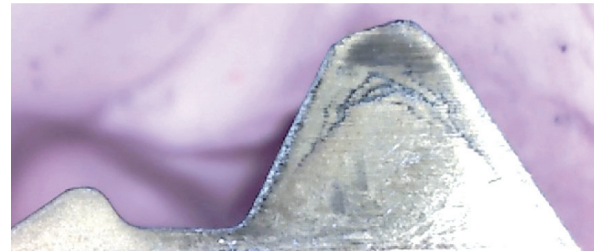
Rysunek 11 pokazuje w dwudziestokrotnym powiększeniu zdjęcie krawędzi skrawającej noża do toczenia gwintów zworników rur wiertniczych kształtu IV po długiej eksploatacji.

Rysunek 12 przedstawia schemat, który łączy kontury profilu krawędzi skrawającej nowego noża tokarskie-

go z rysunku 10 (krzywa czarna ciągła) i zużytego na rysunku 11 (krzywa czerwona punktowa). Jeśli porównać te linie, stanie się jasne, że krawędź skrawająca jest najbardziej zużyta w części, która tworzy podstawę gwintu.

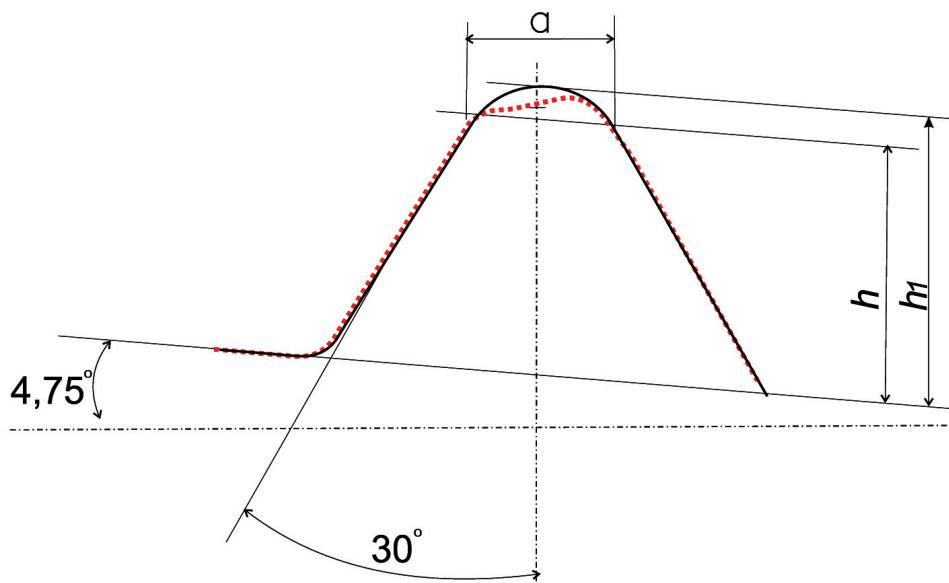


Rys. 10. Zdjęcie z części ostrza noża (wykonywane przy powiększeniu 20×)



Rys. 11. Zdjęcie z części ostrza noża. Ten sam nóż jest z pełnym profilem krawędzi tylko po zakończeniu stosowania w obrabiarce (kształt IV, wykonywane przy powiększeniu 20×)

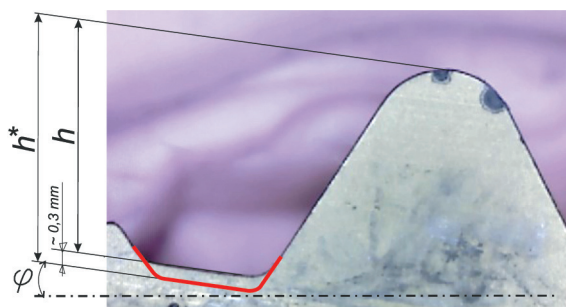
Z rysunku 12 można wywnioskować, że dalsza eksploatacja noża obniży czerwoną punktową krzywą poniżej linii zarysu wierzchołka, co spowoduje, że mufa nie złączy się z czopem w wyniku interferencji ich powierzchni gwintowej.



Rys. 12. Schemat połączonych konturów nowego noża do toczenia zwornikowej powierzchni gwintowej (czarna krzywa) i noża ze zużytym profilem krawędzi skrawającej (czerwona punktowa krzywa)

### 9.1. Zapewnienie zwiększenia szczelności zwornika dzięki zmniejszeniu luki technologicznej

Aby zmniejszyć początkową wartość wysokości szczeliny, która jest określona przez wcześniej przyjęty wzór  $h_1 - h$ , lepszym rozwiązaniem jest zwiększenie wartości  $h$  niż zmniejszenie wartości  $h_1$ . Wynika to z faktu, że podstawę powierzchni gwintowej tworzy część krawędzi noża, która zużywa się najintensywniej, dlatego niewłaściwe jest jego zmniejszanie. Ale całkiem rozsądne jest zwiększenie wartości  $h$ . Oznacza to, że warto zwiększyć ten parametr w odpowiedniej sekcji krawędzi narzędzia.



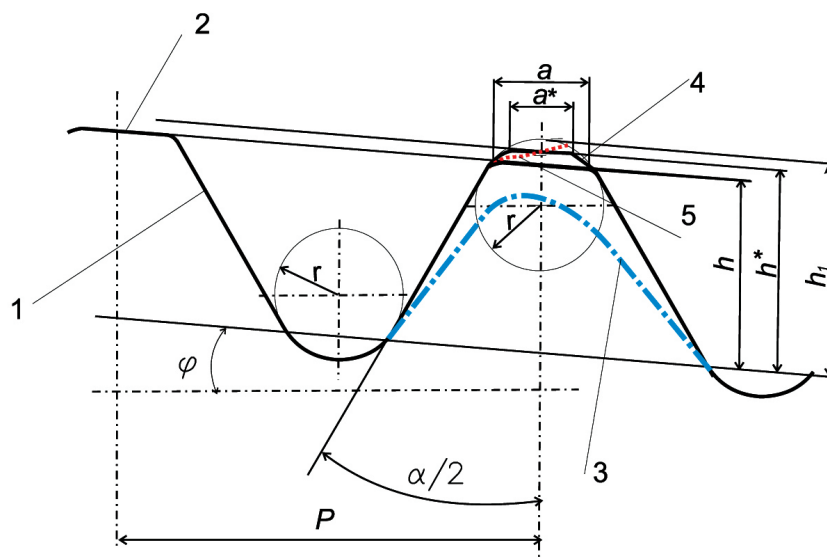
Rys. 13. Zdjęcie z części ostrza noża (wykonywane w powiększeniu 20 $\times$ ), z poprawionym odcinkiem krawędzi skrawającej, schemat fragmentu połączenia rur wiertniczych z większą o 0,3 mm wysokością roboczą profilu gwintu (krzywa czerwona)

Rysunek 13 pokazuje obraz krawędzi skrawania noża, który jest podobny do rysunku 10 oraz dodatkowo narzucony zmodernizowany profil (czerwona linia), który potwierdza, że wzrost wielkości  $h$  do wartości  $h^*$  był spowodowany przeniesieniem krawędzi skrawania, która tworzy wierzchołek przy cięciu gwintu o 0,3 mm zgodnie z zaleceniami [4].

### 9.2. Zapewnienie wymaganego okresu trwałości noża do toczenia powierzchni gwintowej zworników rur wiertniczych

Rysunek 14 przedstawia schemat pozwalający na uzyskanie zmniejszenia szczeliny technologicznej pozwalającej na uzyskanie  $h_1 - h^*$ , która może być wykonana za pomocą noża z dostosowaną krawędzią, jak pokazano na rysunku 13. Czerwona krzywa punktowa na rysunku 14 wskazuje najbardziej charakterystyczne zużycie krawędzi tnącej w momencie zakończenia okresu trwałości noża.

Jest oczywiste, że wartości  $h^*$  nie można zapewnić kontaktu z taką krawędzią, ponieważ wykracza ona poza granicę figury umieszczonej między wymiarami  $h_1$  i  $h^*$ . W takim przypadku należy zadbać o trwałość noża, dostosowując jego parametry geometryczne, przede wszystkim statyczny kąt natarcia w wierzchołku ostrza noża – na przykład w zakresie  $-5^\circ$  zgodnie z zaleceniami [9, 10].



Rys. 14. Schemat ilustrujący zmniejszenie początkowej szczeliny i w konsekwencji zmniejszenie teoretycznego ograniczenia zużycia krawędzi skrawającej narzędzia przez zwiększenie wartości  $h$  do rozmiaru  $h^*$ : 1 – większa strona profilu gwintu zgodnie ze standardem, 2 – wierzchołek profilu gwintu zgodnie ze standardem, 3 – profil gwintu po dłuższej eksploatacji, 4 – wierzchołek gwintu, który jest wykonywany za pomocą dopasowanej krawędzi skrawającej, 5 – krawędź skrawająca noża tokarskiego po dłuższej eksploatacji

## 10. ZWIĘKSZENIE WARTOŚCI KRYTERIUM ODRZUCENIA $H$ I WARTOŚCI LICZBY WKREĆCEN DLA PEŁNEGO WKREĆCANIA $m$

Rysunki 13 i 14 pokazują, że wartość  $h$  można zwiększyć do wielkości  $h^*$ , a zatem wartość  $a$  zmniejsza się do  $a^*$ . Wzory w rozdziale 10.1 zawierają zmienne  $h$  i  $a$ , więc należy obliczyć następujące parametry: kryteria odrzucenia i liczbę powtórzeń wkręcania w celu uzyskania wyników, które potwierdzą pogląd, że zmodernizowany według rysunku 13 nóż przy stosowaniu zaleceń [9, 10] zwiększy określone parametry.

### 10.1. Przykład obliczenia kryterium $H$ i wartości $m$ dla gwintu połączenia zwornika o kształcie profilu IV

Skok  $P = 6,35$  mm, wysokość robocza profilu gwintu  $h = 2,633$  mm, stożek  $K = 0,17$ .

Zgodnie ze źródłem [3, 4] spadek wartości zmiennej  $a$  od wartości 1,65 mm do wartości 1 mm można osiągnąć, dodając do wartości  $h$  jeszcze 0,328 mm. Jednocześnie, zgodnie z [3], prędkość przepływu płynu wiertniczego przez szczelinę zmaleje 30–50 razy, co oznacza gwałtowny spadek działania procesu ściernego na zużycie połączenia. Podstawiamy te wartości we wzorze (7) i wykonujemy dwa obliczenia przy  $h = 2,633$  mm i przy:

$$h^* = 2,633 + 0,328 = 2,961 \text{ mm} \quad (7)$$

W związku z tym przy  $h = 2,633$  mm kryterium  $H = 30,98$  mm, a przy  $h^* = 2,961$  mm kryterium  $H^* = 34,84$  mm. W wymiarze liczbowym na przykładzie profilu IV mamy następujący względny wzrost w kryterium  $H\%$ :

$$H\% = \frac{H^* - H}{H} = \frac{34,84 - 30,98}{30,98} 100 = 12,49\% \quad (8)$$

gdzie  $H^*$  – kryterium  $H$  o nowej wartości  $h = 2,961$  mm.

Zatem zwiększenie wysokości roboczej profilu  $h$  o 0,328 mm prowadzi do zwiększenia kryterium odrzucenia gwintów połączenia wiertniczego o prawie 12%.

Podstawiamy powyższe wartości we wzorze (8) i wykonujemy dwa obliczenia przy  $h = 2,633$  mm i przy  $h^* = 2,633 + 0,328 = 2,961$  mm. Zatem, przy  $h = 2,633$  mm, wartość liczby wkręcania  $m = 4,88$ , a przy  $h^* = 2,961$  mm wartość liczby wkręcania  $m^* = 5,49$ . Wzór (8) wskazuje więc również na funkcjonalną zależność wkręcania zworników od profilu krawędzi skrawającej noża. W wymiarze liczbowym na przykładzie profilu IV otrzymujemy następujący względny wzrost w kryterium  $m\%$ :

$$m\% = \frac{m^* - m}{m} = \frac{5,49 - 4,88}{4,88} 100 = 12,5\% \quad (9)$$

gdzie  $m^*$  – jest wartością liczby wkręcania przy  $h^* = 2,961$  mm.

Zatem zwiększenie wysokości roboczej profilu  $h$  o 0,328 mm prowadzi do zwiększenia wartości liczby wkręcania połączeń gwintowych o 12,5%.

### 10.2. Porównanie obliczonych kryteriów odrzucenia $H$ i wartości liczby obrotów przy pełnym wkręcaniu $m$ w przypadku standardowych i ulepszonych gwintów zwornikowych o kształcie profilu IV

Na podstawie tego przykładu oraz po zastosowaniu wzorów (3) i (5) sporządzono tabelę 1, w której przedstawiono obliczenia kryterium odrzucenia zarówno dla standardowych parametrów o kształcie profilu IV  $H_{\max}$  i  $H_{\min}$ , jak i wykonanych za pomocą narzędzia o zmodernizowanym profilu.

Poza tym opierając się na wzorach (4) i (6), sporządzono tabelę 2, w której obliczono wartość liczby obrotów do pełnego skręcenia  $m_{\max}$  i  $m_{\min}$  dla standardowych parametrów kształtu IV profilu i dla profilu wykonanego za pomocą narzędzia ze zmodernizowanym profilem.

**Tabela 1**  
**Wyniki obliczania kryteriów odrzucenia dla standardowego i zaktualizowanego wykonywania**  
**(kształt profilu IV gwintu zwornika)**

Parametr	Wartości standardowe			Wartości zaktualizowane			Względny wzrost	
	Wartość parametru	$H_{\min}$ [mm]	$H_{\max}$ [mm]	Wartość parametru	$H^*_{\min}$ [mm]	$H^*_{\max}$ [mm]	$H_{\min\%}$ [%]	$H_{\max\%}$ [%]
$P$	6,35	28,08	30,98	6,35	30,74	34,84	9,4	11,94
$K$	1 : 6			1 : 6				
$a$	1,65			1				
$h$	2,63			2,96				
$a$	30			30				

**Tabela 2**  
**Wyniki obliczania wartości liczby obrotów dla standardowego i zaktualizowanego wykonywania**  
**(kształt profilu IV gwintu zwornika)**

Parametr	Wartości standardowe			Wartości zaktualizowane			Względny wzrost	
	Wartość parametru	$m_{\min}$ [o6]	$m_{\max}$ [o6]	Wartość parametru	$m_{\min}$ [o6]	$m_{\max}$ [o6]	$m_{\min\%}$ [%]	$m_{\max\%}$ [%]
$P$	6,35	4,42	4,88	6,35	4,84	5,49	14,5	12,5
$K$	1 : 6			1 : 6				
$a$	1,65			1				
$h$	2,63			2,96				
$a$	30			30				

## 11. WNIOSKI

Na podstawie stosowania kryteriów odrzucenia i badań teoretycznych profilu krawędzi skrawającej noży przeznaczonych do toczenia powierzchni gwintów zworników sformułowano następujące wnioski.

- Zwiększenie wysokości roboczej profilu  $h$  i zmniejszenie szerokości wartości  $a$  noża prowadzi jednocześnie do zwiększenia szczelności połączenia gwintu w zworniku i wartości kryterium odrzucenia  $H$  o 9–12%.
- Zwiększenie wysokości roboczej profilu  $h$  oraz zmniejszenie szerokości  $a$  profilu krawędzi skrawającej prowadzi do zwiększenia wartości liczby obrotów  $m$  od momentu zainstalowania czopa w mufie do ich pełnego wkręcania o 12,5–14,5%.
- Zwiększenie wysokości roboczej profilu  $h$  i zmniejszenie szerokości wierzchołka  $a$  na gwincie zwornika nie prowadzi do naruszeń standardów GOST 28487-90 i API 7, ponieważ są to wielkości opcjonalne.

### Literatura

- HOST 28487-90. *Mieżgosudarstwiennyj standart. Riez'ba koniczeskaja zamkowaja dla elementow burilnych kolonn. Profil. Razmiery. Dopuski*, „Standartinform” 2010: 75.
- Czudyk I.I.: *Do wtrat hidrawlicznoji enerhiji pid czaspromywanija swerdlowyny*, „Rozwidka ta rozrobka naftowych i hazowych rodowyszcz” 2009, 2: 34–42.
- Borushchak L., Onysko O., Panchuk V.: *Research of the impermeability of the tool-joint tape red thread size 2 7/8 reg*, Monografia TUR „Problemy Eksploatacji i Zarządzania w Górnictwie”, Kraków 2017: 65–72.

- [4] Borushchak L., Borushchak S., Onysko O.: *Influence of the technological gap value of the tool-joint tapered thread on the drilling mud flow rate in its screw coupling*, „Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science” 2017, 3, 2: 24–31.
- [5] *Thread\_turning/thread\_turning\_brochure\_english.pdf*. www.secotools.com/CorpWeb/Products/Turning/ [dostęp 2017].
- [6] Siemin W.I.: *Sowriemiennye metody projektorowanija rezbowych sojedinenij trub neftiegazowego sortamienta dla stroitelstwa skwazyn: awtoriefierat dis. doktora tiechnicznych nauk*, Moskwa 2005.
- [7] Onysko O.: *Pro funkcionalnu zaleznist' welyczyny polowynnohokuta profilu zamkoweji narizi wid welyczyn perednoho kuta, kuta nachyłu ta polowynnoho kuta profilurizalnoji kromky rizzia*, w: *Optimizacija wyrobnychykh procesiw i technicznyj kontrol u maszynobuduwanni ta pryładobuduwanni*, „Wisnyk Nacionalnoho uniwersytetu «Lwiws'ka politechnika»” 2017, 867: 10–28.
- [8] Onysko O.: *Athorytm rozrachunku funkcionalnoji zaleznosti formy bicnych profiluwhyntowoji narizi zamkoweji konicnoji dla elementiw burylnych kolon wid heometrycznych parametriwrizzia*, „Naukowij wisnyk” 2017, 1: 77–81.
- [9] Onyško O.R., Psiuk M.I.: *Analiz zabezpeczennia tocznosti-profilu zamkoweji narizi wyhotowlenoji rizziamy iz zahalnym položenniam perednoji powerchni ta zadanoji tocznosti jiji wstanowlennia*, „Wisnyk NTU «CHPI». Serija: Technohija w maszynobuduwanni” 2017, 17: 10–17.
- [10] Onysko O., Panchuk V., Medvid J.: *Technology of the oil and gas drill string pipe connector manufacturing with low-permeability level of the drilling mud in it's screw part*, 6<sup>th</sup> International Conference of Applied Science, Banja Luka 2018.

dr hab. inż. VITALII PANCHUK

dr inż. OLEH ONYSKO.

mgr inż. TETIANA LUKAN

mgr inż. IULIIA MEDVID

Iwano-Frankiwski Narodowy Techniczny Uniwersytet

Nafty i Gazu

ul. Karpatska15, Iwano-Frankiwsk, Ukraina

kmv@nung.edu.ua