



Pompa próżniowa i systemy próżniowe

INSTRUKCJA BEZPIECZEŃSTWA

Informacja o prawach autorskich

©Edwards Limited 2019. Wszelkie prawa zastrzeżone.

Spis treści

1. Wprowadzenie	5
1.1 Zakres tematyczny niniejszego podręcznika	5
1.2 Zagrożenie eksplozją	5
2. Sytuacje stwarzające zagrożenie	7
2.1 Projektowanie	7
2.2 Konstrukcja	7
2.3 Eksploatacja / Przekazanie do eksploatacji	8
2.4 Konserwacja / Wycofanie z eksploatacji	8
3. Zagrożenia związane z substancjami chemicznymi	9
3.1 Reakcje chemiczne i eksplozje	9
3.1.1 Reakcje homogeniczne	9
3.1.2 Reakcje heterogeniczne	9
3.2 Problemy z nieprawidłowymi reakcjami	9
3.3 Zagrożenia wybuchem	10
3.3.1 Utleniacze	10
3.3.2 Materiały łatwopalne / wybuchowe	11
3.3.3 Materiały samozapalne	11
3.3.4 Azydek sodu	12
3.4 Substancje toksyczne i żrące	12
3.4.1 Substancje toksyczne	12
3.4.2 Substancje żrące	13
3.5 Podsumowanie — zagrożenia związane z substancjami chemicznymi	14
4. Fizyczne źródła zagrożeń	15
4.1 Rodzaje zagrożeń związanych z nadciśnieniem	15
4.2 Nadciśnienie w układzie wylotowym pompy	15
4.3 Zabezpieczenie przeciwko nadciśnieniu układu wylotowego	15
4.4 Nadciśnienie układu wlotowego	16
4.4.1 Urządzenia doprowadzające sprężony gaz i przeciwcisnienie	16
4.4.2 Niewłaściwe funkcjonowanie pompy	17
4.5 Podsumowanie — fizyczne źródła zagrożeń	17
5. Analiza zagrożeń	18
6. Projektowanie systemu	19
6.1 Wartości znamionowe ciśnienia w układzie	19
6.2 Usuwanie przepływu stagnacyjnego	19
6.3 Systemy wymuszonego wylotu	20
6.4 Źródła potencjalnie wybuchowych mieszanin gazów lub oparów	20

6.5	Unikanie stref łatwopalnych.	21
6.6	Poziomy integralności układu.	24
6.7	Korzystanie z ustalaczy płomienia.	24
6.8	Źródła zapłonu.	25
6.9	Podsumowanie — projektowanie układu.	26
7.	Dobór właściwych urządzeń.	28
7.1	Rotacyjne pompy łożatkowe i tłokowe z uszczelnieniem olejowym.	29
7.2	Suche pompy Edwards.	29
7.3	Projektowanie rur.	29
7.3.1	Mieszek.	29
7.3.2	Rury elastyczne.	30
7.3.3	Punkty kotwiczenia.	30
7.3.4	Uszczelnienie.	30
7.4	Zabezpieczenie fizyczne przed nadciśnieniem.	30
7.4.1	Upust ciśnienia.	31
7.4.2	Alarm/samoczynny wyłącznik nadciśnienia.	31
7.4.3	Regulatory ciśnienia.	31
7.4.4	Ustalacze płomienia.	31
7.5	Układy odprowadzania gazu.	32
7.6	Podsumowanie — dobór właściwych urządzeń.	32
8.	Procedury robocze i szkolenia.	33
9.	Podsumowanie.	34

Spółka Edwards Ltd. całkowicie wyłącza swoją odpowiedzialność oraz wszelkie gwarancje w zakresie poprawności, praktycznego wykorzystania, bezpieczeństwa oraz skutków informacji, procedur i ich zastosowań opisanych w niniejszym dokumencie. Spółka Edwards Ltd. nie ponosi żadnej odpowiedzialności za wszelkie straty i szkody powstałe na skutek wykorzystania informacji zawartych w tej prezentacji oraz ich niepoprawności lub niekompletności pod dowolnym względem. Informacje zawarte w niniejszym dokumencie mają jedynie charakter doradczy i — chociaż Edwards może udzielić wsparcia w zakresie zagrożeń związanych z użyciem materiałów niebezpiecznych — wykonanie analizy ryzyka lub analizy zagrożeń dla określonych czynności lub środowisk oraz zapewnienie zgodności z przepisami prawa jest obowiązkiem użytkownika końcowego.

1. Wprowadzenie

1.1 Zakres tematyczny niniejszego podręcznika

Ten dokument zawiera zasady bezpieczeństwa powiązane z danymi technicznymi, konstrukcją, działaniem i konserwacją pomp próżniowych i systemów próżniowych.

Ten dokument opisuje niektóre potencjalne zagrożenia związane z urządzeniami, jak również zawiera zalecenia umożliwiające zminimalizowanie prawdopodobieństwa wystąpienia takich zagrożeń, a także odpowiednie im przeciwdziałanie.

Ten dokument jest kierowany do osób, które zajmują się specyfikacją, konstrukcją, montażem, obsługą oraz konserwacją pomp próżniowych i systemów próżniowych. Zaleca się jego przeczytanie w połączeniu z następującymi pozycjami:

- Instrukcje obsługi dostarczone z urządzeniem
- Informacje dostarczone przez dostawcę gazów używanych w procesie i substancji chemicznych
- Informacje dostarczone przez dział bezpieczeństwa pracy.



OSTRZEŻENIE:

Postępowanie niezgodne z zaleceniami dotyczącymi bezpieczeństwa, które znajdują się w tej instrukcji obsługi pompy, może spowodować poważne urazy ciała, a nawet śmierć.

Aby uzyskać więcej informacji na temat przystosowalności produktów firmy Edwards do określonych zastosowań lub aspektów bezpieczeństwa pomp albo systemów próżniowych, należy skontaktować się z dostawcą lub firmą Edwards.

1.2 Zagrożenie eksplozją

Uwaga:

Są dostępne pompy Edwards spełniające warunki europejskiej dyrektywy ATEX dotyczącej urządzeń używanych w atmosferach potencjalnie wybuchowych.

Niespodziewane wybuchy niezmiennie pozostają następstwem ignorowania zasad bezpieczeństwa. Niemniej jednak niektóre z przypadków eksplozji odznaczały się wyjątkową gwałtownością i mogły doprowadzić do poważnych obrażeń lub śmierci.

Częstymi przyczynami gwałtownego pęknięcia elementów systemu próżniowego był zapłon substancji łatwopalnych i zablokowanie lub ograniczenie działania układu wylotowego pompy. Aby uniknąć tego typu zagrożeń, należy zwrócić uwagę na następujące aspekty pracy, pomagając w ten sposób w zapewnieniu bezpieczeństwa obsługi pomp i układów próżniowych.

- O ile system nie został skonstruowany z myślą o tłoczeniu materiałów w stężeniu umożliwiającym zapłon w pompie próżniowej, należy dopilnować, aby mieszaniny substancji łatwopalnych i utleniaczy nie przekroczyły brzegowych parametrów zapalności. Jednym ze sposobów na realizację tego celu jest zastosowanie gazu obojętnego. Zob. [Unikanie stref łatwopalnych](#) na stronie 21.
- Sprawdzić, czy w trakcie pracy urządzenia nie dojdzie do blokady wylotu wskutek elementów mechanicznych (np. zaworów albo zaślepek) lub wskutek odkładania się przetwarzanych substancji albo produktów ubocznych w rurach, filtrach i innych

elementach układu wylotowego, jeśli system nie jest zabezpieczony przed tego rodzaju zagrożeniami.

- Używać tylko olejów PFPE (perfluoropolieterowych) do smarowania mechanizmu pompy znajdującego się w miejscu dużej koncentracji tlenu lub innych utleniaczy. Inne rodzaje olejów, oznaczane jako „niepalne”, można stosować tylko dla obszarów o stężeniu utleniaczy nieprzekraczającym 30% względem objętości.
- Zapobiegać powstaniu przypadkowego nadciśnienia w umyślnie zamkniętym i wyizolowanym systemie próżniowym, np. wskutek usterki regulatora ciśnienia lub układu sterowania oczyszczaniem gazu.
- W sytuacji, gdy pompowana substancja może wejść w gwałtowną reakcję z wodą, zaleca się użycie innego środka chłodzącego niż woda (np. płynu przejmującego ciepło) w obwodzie układu chłodzenia. W tej kwestii należy skonsultować się z firmą Edwards.

2. Sytuacje stwarzające zagrożenie

Sytuacje stwarzające zagrożenie mogą mieć miejsce na każdym etapie użytkowania układu. Fazami tymi są:

- Projektowanie
- Konstrukcja
- Eksploatacja / Przekazanie do eksploatacji
- Konserwacja / Wycofanie z eksploatacji.

Dalsza część instrukcji zawiera podsumowanie problemów pojawiających się na każdym z tych etapów. W każdym przypadku należy pamiętać, że minimalizowanie zagrożenia związanego z urządzeniem jest możliwe tylko po pełnym zrozumieniu funkcjonowania urządzenia oraz procesów i zastosowania systemu. W razie wątpliwości należy skonsultować się z dostawcami.

2.1 Projektowanie

W trakcie projektowania układu należy wybrać odpowiedni rodzaj urządzenia dla planowanego zastosowania. Należy uwzględnić:

- dane techniczne urządzenia,
- materiały użyte do konstrukcji urządzenia,
- materiały eksploatacyjne używane z urządzeniem (np. środki smarne i płyny robocze),
- warunki i materiały produkcyjne.

Należy również uwzględnić ogólne przystosowanie danego urządzenia do wybranego zastosowania i pamiętać o jego użyciu w obrębie właściwych dla niego warunków roboczych.

Należy ustalić procedury projektowe, które pozwolą zminimalizować szansę powstania błędów w trakcie projektowania. Procedury tego typu powinny obejmować niezależną kontrolę obliczeń projektowych, jak również konsultację w kwestii parametrów projektowych.

Część planu projektowego musi zawsze stanowić analiza zagrożeń. Wiele potencjalnych zagrożeń można wyeliminować poprzez dokładne rozpatrzenie zastosowania urządzeń w systemie.

2.2 Konstrukcja

Prawdopodobieństwo pojawienia się zagrożeń w trakcie konstrukcji można ograniczyć poprzez skorzystanie z pomocy wykwalifikowanego personelu i zastosowanie procedur kontroli jakości. Wykwalifikowani pracownicy personelu są w stanie zidentyfikować odpowiednie podzespoły wymagane w trakcie montażu, jak również zidentyfikować wadliwe lub niskiej jakości podzespoły i urządzenia. Procedury kontroli jakości umożliwiają identyfikację i skorygowanie niskiej jakości wykonania, a także zapewniają ścisłe stosowanie się do określonych wymagań projektowych.

Personel musi zachować szczególną ostrożność i przestrzegać wszystkich zasad bezpieczeństwa w trakcie montażu urządzenia w układzie, w którym są pompowane, wytwarzane lub zalegają substancje o właściwościach toksycznych, żrących, łatwopalnych, samozapalnych, duszących lub inne niebezpieczne substancje.

Sprzęt elektryczny może być montowany tylko przez wykwalifikowany personel, zgodnie ze wszystkimi ważnymi przepisami dotyczącymi instalacji elektrycznych, obowiązującymi lokalnie i krajowo.

2.3 Eksploatacja / Przekazanie do eksploatacji

Zagrożenia w trakcie obsługi urządzenia mogą powstać wskutek usterki urządzenia lub podzespołu, wywołanej przez przekroczenie okresu eksploatacji, niewłaściwe użytkowanie lub nieprawidłową konserwację. Aby zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia takich zagrożeń, należy odpowiednio przeszkolić personel w użytkowaniu (i konserwacji) urządzenia. W razie konieczności należy kierować się informacjami dostarczonymi przez firmę Edwards i pozostałych dostawców w postaci instrukcji obsługi, szkoleń i usług posprzedaży.

2.4 Konserwacja / Wycofanie z eksploatacji

Aby zapobiec kontaktowi pracowników z niebezpiecznymi substancjami, należy zachować szczególną ostrożność, jak również postępować zgodnie ze wszystkimi zasadami bezpieczeństwa w trakcie konserwacji układu, w którym są pompowane lub wytwarzane substancje o właściwościach toksycznych, żrących, łatwopalnych, samozapalnych, duszących lub inne niebezpieczne substancje.

Należy również przestrzegać harmonogramu konserwacji i przestrzegać zasad bezpiecznej utylizacji podzespołów, które mogą być skażone niebezpiecznymi substancjami. Należy postępować zgodnie z zaleceniami zawartymi w instrukcjach obsługi wszystkich urządzeń, aby zapewnić bezpieczne i niezawodne działanie. Zazwyczaj systemy zgodne z dyrektywą ATEX muszą spełniać dodatkowe wymagania.

3. Zagrożenia związane z substancjami chemicznymi

3.1 Reakcje chemiczne i eksplozje

Należy dokładnie uwzględnić wszystkie możliwe reakcje chemiczne, które mogą zajść w dowolnym momencie w systemie próżniowym w trakcie normalnego użytkowania, nieprawidłowego użycia lub awarii. W szczególności należy dokładnie uwzględnić reakcje, w których pojawiają się gazy i opary, które mogą doprowadzić do eksplozji. Doświadczenie wykazało, że eksplozje nastąpiły w miejscu, gdzie pojawiły się substancje nieuwzględnione pierwotnie przez projektanta układu, oraz w przypadkach, gdy nie wzięto pod uwagę symptomów uszkodzenia danego urządzenia.

3.1.1 Reakcje homogeniczne

Reakcje homogeniczne zachodzą w gazach pomiędzy dwoma lub więcej rodzajami molekuł gazowych. Do tej grupy zazwyczaj należą reakcje spalania gazu. Na przykład wiadomo, że silan (SiH_4) i tlen (O_2) zawsze reagują homogenicznie. Dlatego też w przypadku występowania takich reakcji w procesie produkcji należy uważnie kontrolować ciśnienie procesu i stężenie substratów, zapobiegając przypadkowej intensyfikacji reakcji.

3.1.2 Reakcje heterogeniczne

Przeprowadzenie reakcji heterogenicznej wymaga użycia powierzchni ciała stałego, tzn. molekuły niektórych gazów reagują tylko po zaabsorbowaniu przez powierzchnię ciała stałego, nie reagując przy tym pod niskim ciśnieniem w stanie gazowym. Ten rodzaj reakcji jest idealny dla określonych procesów, ponieważ minimalizuje skutki reakcji, które zachodzą w komorze produkcyjnej, zmniejszając powstawanie cząstek stałych i ograniczając prawdopodobieństwo wystąpienia skażenia.

Większość reakcji heterogenicznych przeradza się w reakcje homogeniczne przy wyższych wartościach ciśnienia, zazwyczaj poniżej ciśnienia atmosferycznego. Oznacza to, że sposób reakcji gazu w komorze produkcyjnej może nie mieć związku ze sposobem jego reakcji podczas sprężania w pompie próżniowej.

3.2 Problemy z nieprawidłowymi reakcjami

Nieprawidłowe reakcje mogą nastąpić w przypadku wejścia substancji chemicznych w kontakt z gazami lub substancjami nieuwzględnionymi przez projektanta układu. Może to na przykład nastąpić podczas nieszczelności, która umożliwia gazom atmosferycznym na przedostawanie się do wnętrza układu albo wydostawanie się gazów toksycznych, łatwopalnych, wybuchowych lub innych niebezpiecznych gazów do atmosfery.

Aby zapobiec wystąpieniu tego typu reakcji, należy utrzymywać szczelność układu na poziomie 1×10^{-3} mbar l s^{-1} (1×10^{-1} Pa l s^{-1}) lub niższym. Przy wykorzystaniu wysokiego podciśnienia typowa szczelność, którą należy utrzymać, to 1×10^{-5} mbar l s^{-1} (1×10^{-3} Pa l s^{-1}) lub mniej. Należy również sprawdzić, czy wszystkie zawory układu są szczelnie osadzone w gniazdach.

Gazy, które normalnie nie wchodzą w kontakt w cyklu produkcyjnym, mogą zostać wymieszane w układzie pompowania lub rurach wylotowych.

Istnieje możliwość, że w komorze produkcyjnej może znaleźć się para wodna lub roztwory czyszczące, jako pozostałości po rutynowych procedurach konserwacyjnych. Może to mieć

miejsce po odfukaniu i wyczyszczeniu komory produkcyjnej. Para wodna może również przedostać się do wnętrza układu poprzez kanały i płuczki układu wylotowego.

W przypadku używania rozpuszczalnika do usuwania pozostałości po produkcji z układu próżniowego, należy koniecznie sprawdzić, czy wybrany rozpuszczalnik może być stosowany do wszystkich materiałów produkcyjnych znajdujących się w systemie próżniowym.

3.3 Zagrożenia wybuchem

Zazwyczaj źródłem zagrożeń wybuchu jest jedna z następujących kategorii:

- Utleniacze
- Materiały łatwopalne / wybuchowe
- Materiały samozapalne
- Azydek sodu.

Należy pamiętać, że dostawcy materiałów produkcyjnych w krajach Unii Europejskiej (i niektórych innych) są zobowiązani prawem do przedłożenia dokumentacji z właściwościami fizycznymi i chemicznymi materiałów, które sprzedają (zazwyczaj w postaci arkusza danych bezpieczeństwa materiałów). Dane dotyczące substancji muszą zawierać (jeżeli dotyczy) informacje na temat górnej i dolnej granicy wybuchowości, właściwości fizycznych i termodynamicznych substancji oraz wszelkich zagrożeń dla zdrowia związanych z ich użyciem. Należy kierować się tymi informacjami jako wytycznymi.

3.3.1 Utleniacze

Utleniacze takie jak tlen (O_2), ozon (O_3), fluor (F_2), trifluorek azotu (NF_3) sześćsiofluorek wolframu (WF_6) są substancjami często pompowanymi w systemach próżniowych.

Utleniacze wchodzą w łatwe reakcje z wieloma różnymi substancjami i materiałami, a często skutkiem reakcji jest wydzielanie ciepła i zwiększenie ciśnienia gazu. W konsekwencji potencjalne zagrożenia to zaprószenie ognia i powstanie nadciśnienia w pompie i/lub układzie wylotowym.

Aby zachować bezpieczeństwo pompowania tych gazów, należy przestrzegać instrukcji dotyczących bezpieczeństwa, otrzymanych od dostawcy gazu, jak również następujących wskazań:

- Używać tylko olejów PFPE (perfluoropolieteryowych) do smarowania pomp służących do pompowania tlenu w stężeniu powyżej 25% względem objętości gazu obojętnego.
- Używać olejów PFPE do smarowania pomp służących do tłoczenia gazów, w których objętościowa zawartość tlenu wynosi zwykle mniej niż 25%, lecz może wzrosnąć powyżej 25% w przypadku uszkodzenia — jeśli są tłoczone inne utleniacze niż tlen, zalecaną ilość utleniacza należy skonsultować z dostawcą oleju.
- Oleje PFPE stanowią preferowany rodzaj środków smarnych, jednakże można również użyć środków smarnych na bazie węglowodorów, jeżeli stosuje się przepłukiwanie gazem obojętnym w stopniu wystarczającym na wyeliminowanie ryzyka kontaktu oleju z niebezpiecznym stężeniem utleniacza.

W normalnych warunkach roboczych oleje PFPE nie ulegają utlenianiu ani rozkładowi w skrzyni olejowej ani przekładniowej uszczelnionej olejowo rotacyjnej pompy łopatkowej lub tłokowej. Zmniejsza to prawdopodobieństwo wybuchu.

Należy pamiętać, że rozkład termiczny olejów PFPE może nastąpić w temperaturze 290°C lub więcej, w obecności powietrza lub żelazowców. Temperatura rozkładu termicznego spada jednak do 260°C w obecności tytanu, magnezu, glinu lub ich stopów.

Zamiast stosowania olejów PFPE w rotacyjnych łopatkowych lub tłokowych pompach próżniowych można również rozrzedzić stężenie utleniacza do bezpiecznego poziomu, używając do tego gazu obojętnego, takiego jak suchy azot. Ta metoda jest możliwa do przeprowadzenia tylko w przypadku utleniaczy o niskim natężeniu przepływu. Należy zamontować odpowiednie urządzenia zabezpieczające w układzie, utrzymujące minimalny przepływ rozrzedzonego gazu w celu zredukowania stężenia utleniacza do bezpiecznego poziomu, jak również zapobiegające wzrostowi natężenia przepływu utleniacza powyżej wartości maksymalnej. Należy zaprojektować system, który umożliwi natychmiastowe zatrzymanie przepływu utleniacza w przypadku niespełnienia któregoś z tych warunków.

Do pompowania utleniaczy zaleca się używanie suchych pomp Edwards (patrz rozdział „Suche pompy Edwards” Sucha pompa Edwards [Suche pompy Edwards](#) na stronie 29). Brak płynów uszczelniających w pojemności skokowej suchych pomp znacznie ogranicza prawdopodobieństwo wystąpienia eksplozji w trakcie przetwarzania utleniaczy za ich pomocą. Edwards zaleca przepłukiwanie łożyska i wnętrza przekładni gazem obojętnym, jeśli został użyty smar węglowodorowy.

3.3.2 Materiały łatwopalne / wybuchowe

Wiele gazów i pyłów, np. wodór (H_2), acetylen (C_2H_2), propan (C_3H_8) i drobny pył krzemowy, jest łatwopalnych lub wybuchowych w określonym stężeniu, w przypadku zapewnienia źródła zapłonu w atmosferze utleniacza. Źródło zapłonu może powstać np. z miejscowego ciepła tworzenia podczas procesu. Więcej informacji znajduje się w rozdziale „Źródła zapłonu” Źródła zapłonu [Źródła zapłonu](#) na stronie 25.

Ryzyka wybuchu można uniknąć, utrzymując stężenie potencjalnie łatwopalnej mieszaniny poza strefą łatwopalaną. Więcej informacji na ten temat znajduje się w rozdziale „Unikanie stref łatwopalnych” Unikanie stref łatwopalnych [Unikanie stref łatwopalnych](#) na stronie 21.

Inną metodą zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia wybuchu jest eliminacja źródeł zapłonu. Więcej informacji na ten temat znajduje się w rozdziale „Źródła zapłonu” Źródła zapłonu [Źródła zapłonu](#) na stronie 25.

Jeżeli nie ma możliwości uniknięcia powstania strefy łatwopalnej, należy użyć urządzenia o takiej konstrukcji, która w przypadku wybuchu zapobiegnie pęknięciu urządzenia lub uniemożliwi przedostanie się płomienia do otoczenia. Sposób użycia ustalaczy płomienia jest omówiony w rozdziale „Korzystanie z ustalaczy płomienia” Korzystanie z ustalaczy płomienia [Korzystanie z ustalaczy płomienia](#) na stronie 24. Jeśli zewnętrzna atmosfera systemu próżniowego jest niebezpieczna, należy zapewnić odpowiednio sklasyfikowane urządzenia.

W Unii Europejskiej dyrektywa ATEX zawiera precyzyjne wytyczne dotyczące konstrukcji urządzeń przeznaczonych do użycia w potencjalnie wybuchowych atmosferach.

Jeżeli zaistnieje możliwość uniknięcia pompowania potencjalnie wybuchowych atmosfer w każdych warunkach, do pompowania oparów lub gazów łatwopalnych można użyć każdego rodzaju pomp próżniowych Edwards.

3.3.3 Materiały samozapalne

Gazy samozapalne, takie jak silan (SiH_4) i fosfina (PH_3), a także samozapalne pyły, w większości warunków ulegają spontanicznemu zapłonowi w powietrzu o ciśnieniu atmosferycznym. Dlatego też do spalania może dojść w momencie kontaktu tych gazów z powietrzem lub innym utleniaczem tam, gdzie ciśnienie jest odpowiednio wysokie, aby wywołać zapłon. Przyczyną tego może być przedostanie się powietrza przez nieszczelności do wnętrza układu lub kontakt układu wylotowego z atmosferą. Ciepło powstające podczas reakcji utleniacza z gazem samozapalnym może zadziałać jak źródło zapłonu dla materiałów wybuchowych.

Samozapłon lub wybuch mogą nastąpić w przypadku odprowadzenia spalin z innych procesów produkcyjnych przez standardowy układ upustowy. Dlatego też w trakcie pompowania materiałów samozapalnych zaleca się stosowanie oddzielnych układów upustowych.

Procesy produkcyjne z użyciem fosforu mogą spowodować zagęszczenie fosforu w postaci stałej w systemie próżniowym lub wylotowym. W obecności powietrza i pod wpływem nawet najmniejszego bodźca mechanicznego (np. włączenia zaworu lub obrotu pompy wywołanego przez różnicę ciśnień) fosfor może ulec samoistnemu zapaleniu, wydzielając trujące gazy. Zaleca się przepłukiwanie gazem obojętnym i utrzymywanie odpowiednio wysokiej temperatury, aby zmniejszyć stężenie fosforu.

Oleje PFPE mogą wchłaniać gazy używane w procesie, które w przypadku materiałów samozapalnych mogą doprowadzić do miejscowego zapłonu podczas wystawienia oleju na działanie powietrza. To zagrożenie pojawia się szczególnie podczas konserwacji urządzenia lub pompowania utleniacza za pośrednictwem układu po gazie lub pyłe samozapalnym. Aby zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia takiego przypadku, należy użyć suchych pomp Edwards, które nie zawierają oleju w pojemności skokowej. Przed przystąpieniem do wentylacji lub wykonywania innych czynności materiał samozapalny należy spasywizować.

3.3.4 Azydek sodu.

Azydek sodu jest sporadycznie stosowany w trakcie przygotowywania produktów do suszenia sublimacyjnego lub w innych procesach produkcyjnych. Azydek sodu może wytworzyć kwas azotowodorowy. Opary kwasu azotowodorowego mogą wejść w reakcję z metalami ciężkimi, tworząc niestabilny azydek metalu. Może on ulec samoistnemu wybuchowi.

Reagujące metale ciężkie to:

- | | | |
|--------------------------------------|-----------|---------|
| • Bar | • Kadm | • Cez |
| • Wapń | • Miedź | • Ołów |
| • Lit | • Mangan | • Potas |
| • Rubid | • Srebrny | • Sód |
| • Stront | • Cyna | • Cynk |
| • Stopy miedzi i cynku (np. mosiądz) | | |

Mosiądz, miedź, kadm, cyna i cynk są powszechnie używane do produkcji podzespołów, wyposażenia i rur pomp próżniowych. W przypadku użycia lub produkcji azydku sodu w określonym procesie należy zapobiec przedostawaniu się tego gazu w układzie drogą, w której może dojść do jego kontaktu z metalami ciężkimi.

3.4 Substancje toksyczne i żrące

Wiele prac związanych z układem próżniowym wymaga użycia substancji toksycznych i żrących, co wiąże się z koniecznością realizacji określonych procedur.

3.4.1 Substancje toksyczne

Substancje toksyczne ze swej natury stanowią zagrożenie dla zdrowia. Jednakże rodzaj zagrożenia jest uzależniony od specyfiki substancji i jej względnego stężenia. W tym przypadku należy zachować zgodność z procedurami właściwego obchodzenia się z tymi substancjami, otrzymanymi od dostawcy materiału, oraz z przepisami prawa.

Należy również uwzględnić następujące metody:

- **Rozrzedzanie gazu** — aparatura umożliwiająca rozrzedzanie toksycznych gazów używanych w procesie w trakcie ich przepływu przez pompę próżniową i układ

wylotowy. Rozrzedzanie gazu pozwala na zmniejszenie jego stężenia poniżej toksycznego poziomu. Zalecamy śledzenie wyników doprowadzania gazu rozrzedzającego, aby podjąć odpowiednie działania w przypadku braku tego zasilania. Zwłaszcza w przypadku pomp uszczelnionych olejowo należy skorzystać z instrukcji obsługi pompy, aby sprawdzić, czy są potrzebne zestawy do zwrotu oleju.

- **Wykrywanie nieszczelności** — systemy próżniowe firmy Edwards są z zasady projektowane na zachowanie szczelności do poziomu $< 1 \times 10^{-3}$ mbar l s-1 ($< 1 \times 10^{-1}$ Pa l s-1). Nie można jednak zagwarantować takiej szczelności w przypadku podłączonych układów. W celu sprawdzenia integralności układu próżniowego i wylotowego należy posłużyć się odpowiednią metodą wykrywania nieszczelności (np. wykrywaniem nieszczelności na podstawie spektrometrii masowej helu).
- **Uszczelnienie wału (suche pompy Edwards)** — wiele pomp próżniowych wykorzystuje układ przepłukiwania gazem, zapobiegając przedostaniu się gazów używanych w procesie do przekładni i łożysk i ewentualnie dalej do atmosfery otaczającej system próżniowy. Przed wykorzystaniem substancji toksycznych należy sprawdzić integralność danego układu doprowadzania gazu. Należy użyć niewentylowanych regulatorów w połączeniu z bezzwrotnym zaworem kontrolnym. Więcej informacji na ten temat znajduje się w rozdziale „Regulatory ciśnienia” Regulatory ciśnienia [Regulatory ciśnienia](#) na stronie 31.
- **Uszczelnienie wału (inne pompy Edwards)** — konstrukcje uszczelniające wałów smarowanych olejem (np. w mechanicznych pompach wspomagających EH lub rotacyjnych pompach łożyskowych EM) minimalizują ryzyko wycieku gazu używanego w procesie (lub przedostania się powietrza do wnętrza układu), a także dostarczają wizualnych symptomów (wyciek oleju lub redukcja poziomu oleju) zbliżającego się zagrożenia. Inne konstrukcje uszczelniające mogą nie dostarczać ostrzeżenia przed awarią w podobnie skutecznym sposób.
- **Napęd magnetyczny** — w sytuacjach wymagających pełnej, hermetycznej szczelności należy użyć pomp próżniowych Edwards EDP wyposażonych w napęd magnetyczny, który wykorzystuje ceramiczną obudowę bezpieczeństwa i eliminuje konieczność zakładania uszczelnienia na wale wejściowym silnika.

W przypadku wykorzystania zaworów upustowych ciśnienia lub membran bezpieczeństwa do redukcji nadmiaru ciśnienia należy sprawdzić, czy zostały one wyposażone w odpowiedni układ wylotowy, zapobiegający gromadzeniu się toksyn.

W trakcie zwrotu skażonych urządzeń próżniowych do firmy Edwards w celu ich serwisowania lub konserwacji należy przestrzegać określonych procedur (formularz HS1) i wypełnić deklarację (formularz HS2) znajdującą się w instrukcji obsługi dołączonej do urządzenia.

3.4.2 Substancje żrące

Podczas tłoczenia materiałów żrących pompami próżniowymi Edwards należy uwzględnić następujące kwestie:

- **Przenikanie wilgoci** — należy zachować szczególną ostrożność, aby zapobiec przenikaniu wilgotnego powietrza, które mogłoby przyspieszyć korozję. Doprowadzanie gazu obojętnego w celu usunięcia żrących substancji z układu powinno stanowić część procedury zakończenia produkcji.
- **Rozrzedzenie** — wykorzystanie odpowiedniego gazu rozrzedzającego pozwoli zapobiec skropleniu się żrących oparów, aby w konsekwencji zminimalizować korozję.

- **Temperatura** — zwiększenie temperatury pompy i przewodu wylotowego zapobiega skraplaniu się pary wodnej, a więc także korozji. W niektórych przypadkach wyższa temperatura może przyspieszyć korozję, patrz poniżej.
- **Korozja urządzeń zabezpieczających** — w przypadku prawdopodobieństwa uszkodzenia ważnych urządzeń zabezpieczających (np. elementów ustalaczy płomienia, czujników temperatury itp.) przez substancje żrące obecne w przepływie gazu używanego w procesie należy uważnie dobrać rodzaj materiałów do konstrukcji układu w celu wyeliminowania tego zagrożenia.
- **Przemiany fazowe** — niezaplanowane przemiany fazowe mogą spowodować skraplanie. W celu wyeliminowania tego zagrożenia należy uwzględnić zmiany temperatury i ciśnienia.
- **Niezaplanowane reakcje** — niezaplanowane reakcje chemiczne mogą spowodować wytworzenie różnych substancji żrących. W przypadku używania urządzenia do więcej niż jednego zastosowania należy uwzględnić wszelkie prawdopodobieństwo wystąpienia zanieczyszczenia krzyżowego.

Niektóre materiały żrące, takie jak fluor, chlor, inne halogeny i halogenki, a także czynniki utleniające, takie jak ozon, i czynniki redukujące, takie jak siarkowodór, również mogą atakować materiały, z którymi mają styczność nawet bez obecności cieczy. W takich przypadkach należy zminimalizować częściowe ciśnienie materiału żrącego, stosując odpowiedni gaz rozrzedzający. Materiały konstrukcyjne systemu próżniowego i model pompy powinny być kompatybilne z danym gazem w jego spodziewanym stężeniu. Wysoka temperatura może przyspieszyć korozję, więc należy ją ograniczyć, jeśli pozwalają na to wymagania technologiczne procesu. Należy zweryfikować częstotliwość prac konserwacyjnych, tak aby uwzględnić wpływ materiałów żrących na system.

3.5 Podsumowanie — zagrożenia związane z substancjami chemicznymi

- Należy uwzględnić wszystkie reakcje chemiczne, jakie mogą zajść w danym układzie.
- Uwzględnić nieprawidłowe reakcje chemiczne, wliczając reakcje powstałe wskutek uszkodzenia.
- Stosować się do informacji zawartych w arkuszu danych bezpieczeństwa materiałów w trakcie oceny potencjalnych zagrożeń związanych z materiałami produkcyjnymi.
- Stosować techniki rozrzedzania w celu minimalizowania reakcji utleniaczy i substancji łatwopalnych.
- W UE obowiązuje definicja strefy łatwopalnej, w której należy używać pompy próżniowej z certyfikatem ATEX. W pozostałych częściach świata Edwards zaleca, aby w miarę możliwości używać pomp posiadających certyfikaty zgodne z dyrektywą ATEX.
- Użyć odpowiedniego rodzaju środka smarnego do pompy w trakcie pompowania utleniaczy i rozważyć użycie suchej pompy.
- W procesie produkcyjnym wykorzystującym azydek sodu zapobiegać wystąpieniu elementów zawierających metale ciężkie na drodze przepływu gazu w układzie produkcyjnym.
- Zachować szczególną ostrożność w trakcie obchodzenia się z substancjami toksycznymi, żrącymi lub niestabilnymi.

4. Fizyczne źródła zagrożeń

4.1 Rodzaje zagrożeń związanych z nadciśnieniem

Nadciśnienie w podzespołach systemu próżniowego może pojawić się z następujących przyczyn:

- wprowadzenie do systemu gazu pod wysokim ciśnieniem,
- sprężenie gazu w systemie,
- nagły wzrost temperatury lotnego gazu w układzie,
- przemiana fazowa prowadząca do osadzenia się stałego materiału produkcyjnego,
- reakcja wewnątrz systemu próżniowego,
- zablokowane kanały wylotowe.

Możliwe są także inne przyczyny.

4.2 Nadciśnienie w układzie wylotowym pompy

Częstą przyczyną powstania nadciśnienia w układzie wylotowym jest zablokowanie lub ograniczenie jego przepustowości. Może to spowodować awarię pompy lub innych podzespołów układu.

Pompy próżniowe są urządzeniami sprężającymi, które zostały specjalnie zaprojektowane na pracę przy wysokich wartościach sprężania na odcinku wlotowo-wylotowym.

Oprócz potencjalnego nadciśnienia wywołanego działaniem pompy, jeżeli doszło do ograniczenia lub zablokowania układu wylotowego, nadciśnienie może zostać również spowodowane przez wprowadzenie sprężonego gazu (np. gazu czyszczącego lub rozrzedzającego).

Jeżeli pompa jest wyposażona w ustalacze płomienia albo inny osprzęt typu filtry lub kondensatory po stronie układu wylotowego, bardzo ważną rzeczą jest, aby przeciwcisnienie układu wylotowego nie przekroczyło maksymalnej wartości podanej w instrukcji obsługi systemu próżniowego. Należy wdrożyć odpowiedni plan konserwacji, który pozwoli określić, czy nie doszło do zatkania układu wylotowy i ustalacza płomienia przez osad produkcyjny. Jeżeli jest to niewskazane ze względów praktycznych, należy posłużyć się czujnikiem ciśnienia znajdującym się pomiędzy pompą a ustalaczem płomienia do wykrycia zatkanych miejsc. W podobny sposób należy uwzględnić inne urządzenia zainstalowane na kanałach wylotowych, takie jak filtry i skraplacze.

Sublimacja lub przemiana fazowa może prowadzić do zatkania osadem stałym rur produkcyjnych i zagrożenia spowodowanego przez nadciśnienie.

Należy zapoznać się z instrukcją obsługi dołączoną do tłoczących systemów próżniowych w celu określenia maksymalnych i zalecanych, stałych wartości przeciwcisnienia dla wszystkich podzespołów układu wylotowego pompy próżniowej. Układ wylotowy powinien być zaprojektowany w taki sposób, aby te ograniczenia spełnić.

Informacje dotyczące ograniczeń dla pracy ciągłej znajdują się w instrukcji obsługi pompy.

4.3 Zabezpieczenie przeciwko nadciśnieniu układu wylotowego

Na ogół zaleca się korzystanie z pomp połączonych rurami ze swobodnie wentylowanym układem wylotowym. Używany układ wylotowy może jednak zawierać podzespoły, które

mogą spowodować ograniczenie jego przepustowości lub zablokowanie. W takiej sytuacji należy zastosować odpowiednie metody zabezpieczeń przeciwko nadciśnieniu: Poniżej przedstawiono przykłady takich metod:

Podzespół	Metoda zabezpieczenia
Zawór w rurze wylotowej	Zablokowanie zaworu, pozostawiając go w ciągłym położeniu otwartym podczas pracy pompy.
	Zamontowanie obejścia upustowego.
Płuczka układu wylotowego	Zamontowanie obejścia upustowego.
	Zamontowanie urządzenia monitorującego ciśnienie i zablokowanie pompy w ten sposób, aby została wyłączona w przypadku zbyt wysokiego wzrostu ciśnienia wylotowego.
Ustalacz płomienia	Pomiar ciśnienia wylotowego.
	Pomiar różnicy ciśnień.
Filtr oparów oleju	Zamontowanie urządzenia upustowego.

Podsumowując, jeżeli ciśnienie układu wylotowego zbliży się do maksymalnej dopuszczalnej wartości, należy:

- zredukować ciśnienie urządzeniem znajdującym się na drodze przepływu gazu równoległej z ograniczeniem lub zatkaniem układu,
- ograniczyć dostęp źródła ciśnienia. Zatrzymać pompę lub wyłączyć wszelkie urządzenia doprowadzające sprężony gaz.

4.4 Nadciśnienie układu wlotowego

4.4.1 Urządzenia doprowadzające sprężony gaz i przeciwcisnienie

Powszechnym zwyczajem jest zbyt niskie szacowanie wymaganego ciśnienia znamionowego dla rur łączących pompę z systemem próżniowym ze względu na przekonanie, że rury te nie będą poddane ciśnieniu przekraczającym wartość ciśnienia atmosferycznego. W praktyce sprawdza się to tylko w normalnych, zaplanowanych warunkach roboczych. W trakcie szacowania wymaganego ciśnienia znamionowego należy również uwzględnić wzrost ciśnienia spowodowany nienormalnymi warunkami roboczymi lub uszkodzeniem.

Częstą przyczyną nadciśnienia w rurach wlotowych pompy jest doprowadzenie sprężonych gazów (np. gazów do czyszczenia) przy niefunkcjonującej pompie. Jeżeli elementy rury wlotowej nie są przystosowane do tego rodzaju wartości ciśnienia, nastąpi pęknięcie rury i wyciek gazów z układu. Przepływ wsteczny gazów z układu do komory produkcyjnej, która nie jest w stanie samodzielnie utrzymać takich wartości ciśnienia, również spowoduje pęknięcia i przecieki.

W trakcie podłączania urządzeń doprowadzających do układu sprężony gaz przez regulatory ciśnienia, które zostały zaprojektowane na zapewnienie przepływu gazów pod niskim ciśnieniem, należy dopilnować, aby ciśnienie mieściło się w wartości znamionowej układu.

Często stosowane, niewentylowane regulatory ciśnienia powodują wzrost ciśnienia w układzie do poziomu ciśnienia gazu doprowadzanego przez regulator. Dotyczy to warunków roboczych, w których przez układ nie przepływa gaz używany w procesie. Aby zapobiec powstaniu nadciśnienia, należy zastosować jedną z dwóch następujących metod:

- zmniejszyć ciśnienie i zapewnić obejście pompy przez gaz i przepływ do swobodnie wentylowanego układu wylotowego,

- monitorować ciśnienie w układzie i odciąć dopływ sprężonego gazu za pomocą zaworu przymusowego odciążenia przy określonym poziomie ciśnienia.

4.4.2 Niewłaściwe funkcjonowanie pompy

Należy przedsięwziąć specjalne środki ostrożności tak długo, jak długo zachodzi podejrzenie nieprawidłowego funkcjonowania pompy.

Jeżeli kierunek obrotu pompy jest niewłaściwy i doszło do zatkania lub ograniczenia wlotu pracującej pompy, w rurze wlotowej pompy zacznie wytwarzać się wysokie ciśnienie. Może to spowodować pęknięcie pompy, rury i/lub elementów w rurze.

Do momentu ustalenie prawidłowego kierunku obrotu pompy na wlocie pompy musi znajdować się płyta osłaniająca, luźno przymocowana za pomocą śrub.

Wysoka prędkość obrotowa pompy może spowodować jej rozerwanie. Nie wolno podwyższać prędkości obrotowej pompy powyżej maksymalnego poziomu ustalonego dla danej konstrukcji. Jest to szczególnie istotne w przypadku korzystania z przemienników częstotliwości do kontrolowania prędkości.

4.5 Podsumowanie — fizyczne źródła zagrożeń

- W trakcie obliczania norm bezpieczeństwa należy pamiętać o uwzględnieniu bezpiecznej wartości ciśnienia roboczego dla wszystkich podzespołów układu.
- Zapobiegać możliwości całkowitego lub częściowego zatkania układu wylotowego pompy.
- W przypadku ryzyka przekroczenia wartości ciśnienia znamionowego którejś części systemu próżniowego zalecamy włączenie do systemu odpowiednio umiejscowionych przyrządów do pomiaru ciśnienia. Mierniki te powinny być połączone z układem sterowania, aby w przypadku wykrycia nadciśnienia przełączyć system do trybu bezpiecznego.
- W trakcie szacowania ciśnienia znamionowego systemu próżniowego i podzespołów pompy należy uwzględnić nienormalne warunki pracy i uszkodzenie urządzenia.
- Sprawdzić, czy zamontowany rodzaj urządzenia upustowego jest odpowiedni dla układu i dopasowany do danego zastosowania.
- Sprawdzić, czy urządzenia doprowadzające sprężony gaz są odpowiednio wyregulowane i monitorowane. Wyłączyć te urządzenia wraz z wyłączeniem pompy.
- W miarę możliwości utrzymać ciśnienie doprowadzania wszystkich regulowanych gazów czyszczących poniżej maksymalnego dopuszczalnego poziomu ciśnienia statycznego w układzie. Ewentualnie zapewnić możliwość upustu ciśnienia w przypadku awarii podzespołu.

5. Analiza zagrożeń

Techniki analizy zagrożeń zapewniają strukturalną metodę identyfikacji i analizy zagrożeń, jakie mogą mieć miejsce w trakcie normalnego użytkowania układu, a także zagrożeń powstałych w nienormalnych i nieprawidłowych warunkach pracy. Techniki tego typu stanowią punkt wyjścia dla procesu zarządzania zagrożeniami. W wielu przypadkach zastosowanie tych technik może mieć charakter prawnie obligatoryjny. Pełną skuteczność analiz zagrożeń uzyskuje się w przypadku wdrożenia jej na początkowym etapie projektowania układu i kontynuowania podczas montażu i obsługi układu.

Szczegółowy opis technik analizy zagrożeń jest poza zasięgiem możliwości niniejszej publikacji. Wiele technik analizy zagrożeń zostało jednak opisanych w innych pozycjach. Przykładem techniki powszechnie używanej w przetwórstwie chemicznym jest HAZOP (Analiza zagrożeń i zdolności operacyjnych). Jest to procedura analizy zagrożeń skupiająca się na identyfikacji potencjalnych zagrożeń i problemów ze zdolnością operacyjną w trakcie pracy.

Standardowo analizy zagrożeń polegają na określeniu rodzaju i poziomu zagrożeń, a także prawdopodobieństwie ich wystąpienia. Informacje te można wykorzystać do wyboru najlepszego sposobu zmniejszenia efektów zagrożeń i utrzymania ich na dozwolonym poziomie. W zależności od źródła zagrożenia, można je całkowicie wyeliminować, ograniczyć jego poziom i/lub zmniejszyć prawdopodobieństwo jego wystąpienia. Rzadko kiedy udaje się jednak całkowicie wyeliminować zagrożenie.

Wybierając najskuteczniejszy sposób zarządzania zagrożeniem, należy rozważyć wszystkie potencjalne skutki zagrożenia. Przykładowo, nagrzanie małej powierzchni urządzenia może stworzyć sytuację niewielkiego zagrożenia dla operatora, który może być wówczas narażony na poparzenie. Aby zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia poparzenia, projektant układu może zadbać o znak wizualny, ostrzegający przed gorącą powierzchnią, lub może zdecydować się na umieszczenie osłon wokół tej powierzchni. Na podstawie analizy zagrożeń można jednak również wywnioskować, że ta sama gorąca powierzchnia może przerodzić się w źródło zapłonu dla łatwopalnych oparów. To z kolei może spowodować wybuch lub uwolnienie chmury toksycznych oparów. Aby zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia zapłonu, projektant układu musi postarać się o zmniejszenie temperatury tej powierzchni lub uniemożliwić jej kontakt z łatwopalnymi oparami.

6. Projektowanie systemu

6.1 Wartości znamionowe ciśnienia w układzie

Zgodnie z informacjami zawartymi w rozdziale „Fizyczne źródła zagrożeń” Fizyczne źródła zagrożeń *Fizyczne źródła zagrożeń* na stronie 15 rury i podzespoły systemu próżniowego zostały zaprojektowane na pracę przy ciśnieniu wewnętrznym mniejszym od ciśnienia atmosferycznego. Praktyka zazwyczaj jednak wymaga, aby projektowanie układu uwzględniało również wartości ciśnienia wewnętrznego wyższe od ciśnienia atmosferycznego. W razie konieczności należy uwzględnić montaż urządzeń upustowych, zapobiegających powstaniu nadciśnienia.

Ważną rzeczą jest, aby nie pozostawiać rur i innych podzespołów wlotowych jako najsłabszych elementów układu, bazując na założeniu, że będą one zawsze funkcjonować w warunkach próżni — nawet w przypadku uszkodzenia.

W trakcie projektowania układu wylotowego należy zapewnić najmniejszy możliwy poziom przeciwcisnienia działającego na pompę w trakcie funkcjonowania urządzenia. Istotne jest również oszacowanie właściwego ciśnienia znamionowego podczas projektowania układu wylotowego. Musi ono być dostosowane do wartości ciśnienia generowanego przez pompę oraz między innymi poprzez doprowadzanie sprężonego gazu, jak również odpowiadające stosowanym normom zabezpieczenia przed powstaniem nadciśnienia.

W trakcie analizy zagrożeń należy zawsze uwzględnić następujące czynniki:

- Rury zewnętrzne, np. połączenia doprowadzające gaz obojętny.
- Izolowanie i przewężenia w rurach prowadzących ze wszystkich źródeł (dotyczy to szczególnie przewodów wylotowych).
- Reakcje powstałe pomiędzy gazami używanymi w procesie.

Należy zauważyć, że jeżeli naczynie zawiera lotną ciecz i może zostać odizolowane od pozostałej części układu, zastosowanie zewnętrznego źródła ciepła (np. od ognia) może spowodować wzrost ciśnienia przekraczający wartość przewidzianą dla danego naczynia. W takim przypadku należy konieczność zastosowania odpowiedniego mechanizmu upustowego ciśnienia.

6.2 Usuwanie przepływu stagnacyjnego

Przepływ stagnacyjny to dowolna objętość w rurze lub podzespole układu próżniowego, która nie jest poddana przepływowi gazu. Jest to przykładowo przekładnia mechanicznej pompy wspomagającej lub głowica pomiarowa przyrządu. Układ rur zaworowych lub rury wlotowe azotu mogą również zmienić się w przepływ stagnacyjny, jeżeli dojdzie do ich wyizolowania.

Należy wziąć pod uwagę możliwość powstania przepływów stagnacyjnych w przypadku mieszaniny lub reakcji gazów używanych w procesie, które zazwyczaj nie występują razem w komorze produkcyjnej. Gaz jest zazwyczaj transportowany w rurach, pompach i komorach produkcyjnych w sposób liniowy — jeden gaz lub mieszanina gazów za następnym. Gazy transportowane strumieniami liniowymi nie mieszają się ze sobą, o ile prędkość gazu w układzie wylotowym nie zostanie zmniejszona przez ograniczenie lub zablokowanie drogi. Przepływ stagnacyjny nie ulega odprowadzeniu i może zostać zasilony gazami używanymi w procesie w trakcie wzrostów i spadków ciśnienia w układzie. W ten sposób na jednym z etapów produkcji może dojść do zatrzymania gazów przepływających przez układ. One z kolei mogą wejść w reakcję z gazami pochodzącymi z poprzedniego etapu produkcji. Dokładne

opróżnienie komory przed wprowadzeniem nieprzystawalnego gazu stanowi metodę ochrony przed ryzykiem eksplozji.

Należy szczególnie uwzględnić przypadki zanieczyszczenia krzyżowego w przepływach stagnacyjnych oraz przy potencjalnie wybuchowych właściwościach gazów. Należy zwłaszcza uwzględnić zagrożenie powstałe wskutek nawarstwień mających miejsce w filtrach, oddzielaczach i innych podzespołach. W odpowiednich przypadkach należy wprowadzić ciągłe strumienie gazu do czyszczenia o wysokiej zawartości, mające na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa zanieczyszczenia krzyżowego.

W trakcie pompowania substancji łatwopalnych może dojść do sytuacji, w której przepływy stagnacyjne zostaną wypełnione gazami lub oparami potencjalnie wybuchowymi, których nie będzie można usunąć standardowym odprowadzaniem. W przypadku obecnego źródła zapłonu należy również uwzględnić specyficzne warunki usuwania przepływu stagnacyjnego.

6.3 Systemy wymuszonego wylotu

Ważną rzeczą jest użycie odpowiedniego rodzaju systemu wymuszonego wylotu w danym procesie produkcyjnym. Tak jak wcześniej wspomniano, projekt systemu wymuszonego wylotu musi uwzględniać możliwość znoszenia ciśnienia roboczego, utrzymanie odpowiedniej szczelności w trakcie przechowywania materiałów produkcyjnych oraz ich produktów ubocznych (w przypadku produkcji lub przetwarzania substancji niebezpiecznych) i zapobieganie przedostawaniu się substancji niebezpiecznych do atmosfery.

6.4 Źródła potencjalnie wybuchowych mieszanin gazów lub oparów

Gaz lub opar łatwopalny zmieszany z właściwym stężeniem tlenu lub innego, odpowiedniego utleniacza tworzy potencjalnie wybuchową mieszaninę, która może ulec zapaleniu w obecności jakiegokolwiek źródła zapłonu.

O ile niektóre pompowane substancje są domyślnie podatne na eksplozję, na podstawie doświadczeń nabytych przez firmę Edwards można stwierdzić, że istnieją warunki, w których potencjalnie wybuchowa mieszanina powstaje w warunkach nieuwzględnionych w trakcie projektowania systemów przeznaczonych do obsługi procesu. Należy zidentyfikować wszystkie możliwe warunki technologiczne i źródła potencjalnie wybuchowych mieszanin, które mogą powstać w trakcie pracy urządzenia. Poniżej wymieniono kilka przykładów bazujących na doświadczeniu firmy Edwards, jednakże nie jest to kompletna lista:

- **Zanieczyszczenie krzyżowe** — w trakcie używania pompy próżniowej do szeregu różnych zastosowań może zaistnieć sytuacja, że substancja, która sama w sobie jest bezpieczna, w połączeniu z nieusuniętymi pozostałościami poprzedniej, pompowanej substancji może wywołać zanieczyszczenie krzyżowe, grożące nieoczekiwanymi skutkami.
- **Płynny do czyszczenia** — są one łagodne w zastosowaniu, ale użycie łatwopalnych płynów do czyszczenia, a następnie suszenie urządzenia poprzez opróżnienie go za pomocą pompy próżniowej może spowodować powstanie potencjalnie wybuchowej mieszaniny.
- **Substancje nieprzewidziane w projekcie** — w warunkach pracy w pomieszczeniach, gdzie pompa próżniowa może być wykorzystana do tworzenia rozproszonego systemu próżniowego, może zaistnieć sytuacja pompowania substancji łatwopalnych, które nie zostały uwzględnione w trakcie projektowania układu. Temperatury samozapłonu tych substancji mogą być niższe od wewnętrznej lub znamionowej temperatury pompy próżniowej.

- **Rozpuszczone opary** — mogą powstawać w czasie procesu i należy zachować ostrożność, aby dobrać odpowiednią znamionową temperaturę wewnętrzną do procesu. Dla branży chemicznej jest ona zwykle określona w wymaganiach ATEX.
- **Przeciek powietrza** — przypadkowe przedostanie się powietrza lub utleniacza do układu może zmienić stężenie gazu lub oparu łatwopalnego i spowodować powstanie potencjalnie wybuchowej mieszaniny.
- **Łatwopalne płyny uszczelniające** — przedostanie się powietrza do układu, w którym używa się cieczy łatwopalnej jako uszczelniacza pompy próżniowej o pierścieniu cieczowym, może spowodować powstanie potencjalnie wybuchowej mieszaniny.
- **Skroplone materiały technologiczne** — jeśli w systemie występuje możliwość skraplania materiałów łatwopalnych, należy pamiętać, że tego rodzaju skropliny mogą reagować z utleniaczami z kolejnych kroków procesu lub z powietrzem (na przykład na kanale wylotowym). Można tego uniknąć, zapewniając odpowiednią temperaturę lub ciśnienie częściowe.

6.5 Unikanie stref łatwopalnych

Substancja łatwopalna tworzy atmosferę potencjalnie wybuchową tylko w połączeniu z powietrzem, tlenem lub innym utleniaczem przy stężeniu mieszczącym się pomiędzy dolną granicą zapalności — LFL (lub dolną granicą wybuchowości — LEL) a górną granicą zapalności — UFL (lub górną granicą wybuchowości — UEL). Należy pamiętać, że większość danych dostępnych w literaturze dotyczy limitów łatwopalności w powietrzu, tj. tam, gdzie utleniaczem jest tlen. Wszystkie informacje podane poniżej będą również oparte na tym założeniu.

Do uzyskania potencjalnie wybuchowego charakteru niezbędny jest również tlen w stężeniu przekraczającym minimalne stężenie tlenu — MOC (lub ograniczenie stężenia tlenu — LOC). Parametr MOC (LOC) dla większości gazów łatwopalnych wynosi 5% objętości lub więcej. (Uwaga: ta zasada nie dotyczy materiałów samozapalnych, które wymagają specjalnych środków ostrożności).

Istnieje szereg metod pozwalających zapobiec pracy z mieszaninami gazowymi w strefach łatwopalnych. Wybór metody będzie uzależniony od wyniku oszacowania ryzyka (analizy zagrożeń) procesu produkcyjnego i układu pompującego:

- **Utrzymanie stężenia gazu łatwopalnego poniżej poziomu LFL (LEL)**
Aby zminimalizować ryzyko przypadkowego przedostania się gazu łatwopalnego do strefy łatwopalnej, należy zachować margines bezpieczeństwa poniżej wartości LFL (LEL).
Po wykonaniu oceny ryzyka użytkownik powinien wyznaczyć margines bezpieczeństwa. Niektóre instytucje zalecają utrzymanie stężenia poniżej 25% wartości LFL (LEL).
Często stosowaną metodą utrzymywania stężenia poniżej wartości LFL (LEL) jest rozrzedzenie gazu za pomocą gazu obojętnego (np. azotu) wprowadzonego przez układ wlotowy pompy i/lub połączenia spustowe. Wymagana integralność układu rozrzedzającego i innych alarmów lub blokad będzie uzależniona od strefy zagrożenia, która może powstać w przypadku awarii układu rozrzedzającego.

Uwaga:

Należy zapewnić odpowiednie środki ostrożności, aby uniknąć ryzyka uduszenia się.

- **Utrzymanie stężenia tlenu poniżej poziomu MOC (LOC)**

Metoda ta wymaga monitorowania stężenia tlenu w pompowanych gazach w celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy. Aby zminimalizować ryzyko przypadkowego przedostania się gazu łatwopalnego do strefy łatwopalnej, należy zachować margines bezpieczeństwa pomiędzy parametrem MOC (LOC) a wartością roboczą. Z dostępnych norm branżowych wynika, że w przypadku stałego monitorowania stężenia tlenu należy go utrzymywać na poziomie mniejszym niż 2% objętości poniżej najniższego, unormowanego parametru MOC (LOC) dla mieszaniny gazowej. Jeżeli wartość MOC (LOC) przekracza 5%, stężenie tlenu należy utrzymać na maksymalnym poziomie 60% wartości MOC (LOC). Jeżeli monitorowanie polega wyłącznie na rutynowych kontrolach poziomu tlenu, stężenie tlenu nie powinno przekraczać 60% najniższego, unormowanego parametru MOC (LOC), chyba że jego wartość nie przekracza 5%. W tym przypadku stężenie tlenu należy utrzymać poniżej 40% wartości MOC (LOC).

Preferowana metoda utrzymania poziomu tlenu poniżej najniższego, unormowanego parametru MOC (LOC) to rygorystyczne upuszczanie powietrza i tlenu z układu produkcyjnego i systemu pomp, a także rozrzedzanie pompowanego gazu za pomocą gazu do czyszczenia (np. azotu), doprowadzanego w razie potrzeby układem wlotowym pompy i/lub połączeniami spustowymi. Wymagana integralność urządzeń upuszczających powietrze/tlen i innych alarmów lub blokad będzie uzależniona od strefy zagrożenia, która może powstać w przypadku awarii układu spustowego lub rozrzedzającego.

Środki ostrożności zazwyczaj wymagane przy rygorystycznym upuszczaniu powietrza z układu produkcyjnego i systemu pomp zostały opisane na końcu niniejszego rozdziału.

- **Utrzymanie stężenia gazu łatwopalnego powyżej poziomu UFL (UEL)**

W przypadku wysokiego stężenia gazu łatwopalnego właściwsze będzie utrzymanie pracy przy stężeniu powyżej poziomu UFL (UEL). Aby zminimalizować ryzyko przypadkowego przedostania się gazu łatwopalnego do strefy łatwopalnej, należy zachować margines bezpieczeństwa pomiędzy parametrem UFL (UEL) a wartością roboczą. Zaleca się utrzymanie poziomu szczątkowego tlenu przy stężeniu co najmniej o 60% mniejszym od całkowitego poziomu tlenu standardowo występującego przy stężeniach gazu łatwopalnego na poziomie UFL (UEL).

Preferowana metoda utrzymania poziomu tlenu poniżej marginesu bezpieczeństwa to rygorystyczne upuszczanie powietrza i tlenu z układu produkcyjnego i systemu pomp. Może być również konieczne rozrzedzanie pompowanego gazu za pomocą obojętnego gazu do czyszczenia (np.

azotu) lub dodatkowego gazu łatwopalnego (gazu „wypełniającego”), doprowadzanego układem wlotowym pompy i/lub połączeniami spustowymi. Wymagana integralność urządzeń upuszczających powietrze, układu doprowadzania gazu do czyszczenia i innych alarmów lub blokad będzie uzależniona od strefy zagrożenia, która może powstać w przypadku awarii układu spustowego lub rozrzedzającego.

- **Utrzymywanie stężenia gazów łatwopalnych poniżej minimalnego ciśnienia wybuchowego**

Każdy gaz łatwopalny ma określoną minimalną wartość ciśnienia, poniżej której wybuch nie jest możliwy. Jeżeli ciśnienie na wlocie do pompy można bezpiecznie utrzymać poniżej tej wartości, wówczas zapłony, do których dochodzi wewnątrz pompy próżniowej, nie rozprzestrzeniają się aż do wlotu. Należy jednak podjąć środki ostrożności skierowane do wylotu pompy próżniowej.

Środki ostrożności zazwyczaj wymagane przy rygorystycznym upuszczaniu powietrza z układu produkcyjnego i systemu pomp:

- **Usuwanie przecieków powietrza**

Użycie wykrywacza nieszczelności lub przeprowadzenie testu wzrostu ciśnienia. Przed doprowadzeniem substancji łatwopalnych do komory produkcyjnej można przeprowadzić test mający na celu ustalenie przy przecieki powietrza (tlenu) do systemu próżniowego znajdują się w dopuszczalnej normie.

Aby przeprowadzić test wzrostu ciśnienia, należy opróżnić komorę produkcyjną do poziomu ciśnienia zaraz poniżej standardowego ciśnienia roboczego, a następnie odizolować ją od pompy próżniowej. Poziom ciśnienia w komorze produkcyjnej będzie rejestrowany przez ustalony okres czasu. Wartość objętości komory produkcyjnej oraz maksymalna dozwolona wartość przecieków powietrza jest znana, umożliwiając obliczenie wartości maksymalnego dopuszczalnego wzrostu ciśnienia w ustalonym okresie czasu. Jeżeli ta maksymalna wartość ciśnienia zostanie przekroczona, należy przedsięwziąć działania mające na celu uszczelnienie źródła przecieków powietrza (tlenu) do komory produkcyjnej. Następnie przed wprowadzeniem substancji łatwopalnych do komory produkcyjnej należy powtórzyć test wzrostu ciśnienia, sprawdzając, czy wynik jest pomyślny.

W niektórych przypadkach do wykrycia nieszczelności układu można użyć zdolności systemu próżniowego do uzyskania dobrego ciśnienia bazowego.

- **Usunięcie całego powietrza z układu przed rozpoczęciem procesu produkcyjnego**

Przed wprowadzeniem gazu łatwopalnego do produkcji należy usunąć całe powietrze z układu, opróżniając układ lub wypełniając go gazem obojętnym (np. azotem). Powtórzyć tę procedurę po zakończeniu procesu produkcyjnego, a przed końcową wentylacją układu, aby usunąć pozostałości łatwopalnego gazu.

- **Czynności dla suchych pomp próżniowych**

Zapobiec przedostaniu się powietrza w jakichkolwiek warunkach do gazu uszczelnienia wału lub do gazu obojętnego i sprawdzić, czy połączenia balastu gazowego są uszczelnione lub doprowadzają wyłącznie gaz obojętny.

- **Czynności dla mokrych pomp próżniowych (np. uszczelniane olejem pompy z tłokiem obrotowym lub rotacyjnej pompy łożatkowej)**

Zapewnić pełne uszczelnienie wału zgodnie z instrukcjami producenta i monitorować układ smarowania pompowanym olejem pod ciśnieniem w celu wykrycia spadku ciśnienia oleju. Ten układ może obejmować urządzenie zewnętrzne, doprowadzające filtrowany olej smarowniczy pod ciśnieniem, obsługiwane za pomocą przełącznika ciśnienia. Sprawdzić, czy połączenia balastu gazowego są uszczelnione lub doprowadzają wyłącznie gaz obojętny. Przed rozpoczęciem procesu produkcyjnego doprowadzić odpowiednią ilość gazu obojętnego do skrzyni olejowej w celu usunięcia z niej powietrza.

- **Czynności dla wspomagających pomp próżniowych**

Zapewnić pełne uszczelnienie głównego wału napędowego zgodnie z instrukcjami producenta i sprawdzić, czy połączenia spustowe lub odpowietrzniające doprowadzają wyłącznie gaz obojętny.

- **Przepływ wsteczny**

Sprawdzić, czy procedury funkcjonowania układu i urządzenia zabezpieczają układ przed powstaniem przepływu wstecznego powietrza, który może spowodować awarię pompy. Sprawdzić, czy wszystkie pompowane gazy łatwopalne zostały bezpiecznie usunięte z układu wylotowego pompy w trakcie końcowej wentylacji. Zapobiec powstaniu mieszaniny gazów łatwopalnych w rurach wylotowych, doprowadzając odpowiedni gaz obojętny do rur przed rozpoczęciem (i po zakończeniu) procesu produkcyjnego z użyciem gazu łatwopalnego. Ewentualnie doprowadzić odpowiednią ilość gazu obojętnego w trakcie funkcjonowania pompy,

zapobiegając turbulentnemu mieszaniu wstecznemu gazu z powietrzem w układzie wylotowym.

6.6 Poziomy integralności układu

Metody zwiększania bezpieczeństwa za pomocą rozrzedzania gazem obojętnym zostały omówione we wcześniejszych rozdziałach. Główną ideą tej metody jest mieszanie gazu obojętnego (zazwyczaj azotu) z gazami używanymi w procesie w celu rozrzedzenia ich do poziomu zapobiegającego ich wybuchowi lub niepożądanym reakcji. Zastosowanie metody rozrzedzania gazu jako podstawowego systemu blokad chroniących przed ewentualną eksplozją wymaga użycia systemu alarmów o wysokiej integralności oraz blokad, które mają za zadanie przerwanie procesu produkcyjnego w przypadku niefunkcjonalności układu rozrzedzania gazu. Stopień integralności układu rozrzedzania gazu należy uwzględnić na etapie oszacowania ryzyka (analizy zagrożeń). Będzie on uzależniony od wewnętrznego strefowania zagrożenia (tzn. oceny poziomu ryzyka), które może powstać w przypadku awarii układu rozrzedzającego. Zawsze należy podjąć w danym momencie najskuteczniejsze rozwiązania, stosowane pod kątem szacowania ryzyka, które pozwolą określić wymagane poziomy integralności układu.

Na przykład, jeżeli układ rozrzedzania był wykorzystywany do utrzymania stężenia gazu łatwopalnego poza strefą łatwopalną, a awaria układu rozrzedzania mogłaby spowodować stałe lub okresowe zaleganie pompowanego gazu wewnątrz tej strefy (zazwyczaj warunkiem dla strefy ATEX 0 jest >50%), wówczas układ rozrzedzania musi spełniać następujące warunki:

- musi być odporny na uszkodzenia — nawet w przypadku rzadkiej awarii,
- musi zachowywać bezpieczeństwo, mając dwie usterki,
- musi obejmować dwa, niezależne układy rozrzedzania.

Ewentualnie, jeżeli awaria układu rozrzedzania mogłaby spowodować okresowe (zazwyczaj warunek dla strefy ATEX 1) zaleganie pompowanego gazu wewnątrz strefy łatwopalnej, wówczas układ rozrzedzania musi spełniać następujące warunki:

- musi być odporny na uszkodzenia — nawet w przypadku przewidywanej awarii,
- musi zachowywać bezpieczeństwo, mając jedną usterkę,

Jeżeli awaria układu rozrzedzania nie spowoduje lub spowoduje tylko chwilowe (zazwyczaj warunek dla strefy ATEX 2) zaleganie pompowanego gazu wewnątrz strefy łatwopalnej, wówczas układ rozrzedzania musi zachowywać bezpieczeństwo w standardowych warunkach roboczych.

6.7 Korzystanie z ustalaczy płomienia

Jeżeli mieszanina tłoczonych gazów i oparów jest łatwopalna (patrz rozdział „Unikanie stref łatwopalnych” Unikanie stref łatwopalnych [Unikanie stref łatwopalnych](#) na stronie 21) przez cały czas lub przynajmniej przez dłuższy okres (tzn. warunek strefy 0) oraz występuje zagrożenie, że źródło zapłonu (patrz rozdział „Źródła zapłonu” Źródła zapłonu [Źródła zapłonu](#) na stronie 25) uaktywni się podczas normalnego działania lub przewidywalnej awarii, na pompie głównej należy zamontować ustalacze płomienia (patrz także rozdział „Ustalacze płomienia” Ustalacze płomienia [Ustalacze płomienia](#) na stronie 31). Wybrane ustalacze płomienia przeznaczone do użytku w połączeniu z pompami próżniowymi Edwards muszą uzyskać odpowiedni certyfikat niezależnej instytucji, zaświadczący ich zdolność do tłumienia ognia w rurach produkcyjnych lub w atmosferze dookoła urządzenia.

Jeżeli łatwopalna mieszanina jest obecna przez dłuższy okres, należy zainstalować zatwierdzony i sprawdzony przekaźnik temperatury na ustalaczu ramy wlotowej, aby umożliwić wykrycie ciągłego spalania. Po wykryciu ciągłego spalania pompę należy wyłączyć i

odizolować od źródła paliwa. W sprawie zatwierdzonych ustalaczy płomienia i przekaźników temperatury prosimy o kontakt z firmą Edwards. Aby zapewnić ciepłą ochronę ustalacza płomienia i pompy w przypadku rzadkiej awarii (strefa 0) pompy, na wylocie pompy powinien być zainstalowany przekaźnik temperatury wylotowej. Punkty rozłączenia zależą od systemu pomp. Należy się zapoznać z odpowiednią dla pompy instrukcją ATEX.

Jeżeli przekaźnik temperatury na wlocie lub na wylocie osiągnę swoją wartość maksymalną, wskazując na uszkodzenie, należy wykonać odpowiednie czynności. Drugorzędne zastosowania urządzenia:

- **Odcięcie zasilania paliwa** — zamknięcie zaworu znajdującego się w układzie wlotowym pompy próżniowej powoduje odcięcie dopływu paliwa do pompy próżniowej.
- **Odcięcie źródła zapłonu** — wyłączenie zasilania silnika powoduje zatrzymanie pompy próżniowej.
- **Zneutralizowanie obszaru zapłonu** — szybkie doprowadzenie gazu obojętnego do obszaru zapłonu (zazwyczaj, chociaż nie zawsze, znajdującego się w kolektorze wylotowym pompy) powoduje stłumienie płomienia. Należy pamiętać, że pozostawienie źródła zapłonu może spowodować ponowne wzniesienie ognia.

6.8 Źródła zapłonu

Tam, gdzie pompy próżniowe są używane do tłoczenia łatwopalnych mieszanin, należy uwzględnić wszystkie możliwe źródła zapłonu. Poniżej wymieniono niektóre z przypadków, które można wziąć pod uwagę w trakcie analizy. W zależności od procesu można uniknąć wszystkich lub chociaż niektórych źródeł zapłonu. Jeżeli nie można uniknąć źródła zapłonu ze względu na warunki realizacji procesu lub wymagania systemu, należy odpowiednio zaprojektować system.

Uwaga:

Niektóre pompy Edwards uzyskały certyfikat wystawiony przez niezależną instytucję, zgodnie z którym są w stanie znieść wewnętrzny wybuch (jeżeli są używane w prawidłowy sposób).

- **Styczność mechaniczna** — mechaniczna styczność części obrotowych ze stacjonarnymi wewnątrz pompy próżniowej i w systemie może się stać źródłem zapłonu. Wszystkie pompy próżniowe Edwards zostały zaprojektowane i zbudowane z myślą o utrzymaniu prawidłowych odstępów wewnątrz pompy w każdych warunkach operacyjnych. Aby uniknąć tego źródła zapłonu, ważne jest, aby nie dopuścić do osadzania się materiałów na wewnętrznych powierzchniach oraz czyścić pompę. Należy utrzymać łożyska w dobrym stanie technicznym, zapewnić odpowiednie smarowanie oraz odpowiedni gaz do czyszczenia, aby wyeliminować kontakt z gazami używanymi w procesie. Zachowanie zalecanej częstotliwości prac konserwacyjnych dla łożysk pozwoli zapewnić ich bezpieczne i niezawodne działanie.
- **Gromadzenie cząstek stałych** — wszystkie mechanizmy pompujące są podatne na gromadzenie cząstek stałych, które powstały w trakcie procesu produkcyjnego lub działania urządzenia. Cząstki stałe znajdujące się pomiędzy ruchomą i stałą powierzchnią mogą powodować generowanie ciepła. Odpowiednia osłona (siatka) wlotu lub filtr zapobiegają przedostawaniu się cząstek do pompy próżniowej, zmniejszając w ten sposób rozmiar i objętość cząstek do bezpiecznych wartości. Należy zachować odpowiednią częstotliwość konserwacji osłony wlotu.
- **Nawarstwianie się kurzu** — zjawisko nawarstwiania się drobnego i zbitego kurzu w wewnętrznych prześwitach może zachodzić w przypadku wykorzystywania mechanizmu pompującego do procesu produkcyjnego powodującego wytwarzanie

kurzu. Nawet użycie filtrów przeciwpyłowych w układzie wlotowym może nie zapobiec przedostaniu się do wnętrza pompy małych cząstek pyłu. Małe zmiany w rozmiarach części urządzenia spowodowane kurczliwością termiczną mogą doprowadzić do kontaktu zbitego kurzu z ruchomą powierzchnią i w konsekwencji do wygenerowania ciepła.

- **Ciepło sprężania (samozapłon)** — należy uwzględnić wewnętrzne ciepło sprężania, które może wytworzyć się w każdej sprężarce, w porównaniu z temperaturą samozapłonu wszystkich pompowanych gazów i oparów. Klasyfikacja temperaturowa pompy powinna być przynajmniej taka sama lub wyższa od temperatury tłoczonych gazów.
- **Gorące powierzchnie** — gazy lub opary łatwopalne wchodzące w kontakt z gorącą powierzchnią mogą ulec zapaleniu, jeżeli dojdzie do przekroczenia ich temperatury samozapłonu. Uwaga: nie wolno izolować termicznie pomp Edwards i ustalaczy płomienia, jeżeli spowoduje to zwiększenie wewnętrznej (i zewnętrznej) temperatury powierzchni, co z kolei może prowadzić do samozapłonu.
- **Zewnętrzne źródło ciepła** — zewnętrznym źródłem ciepła może być na przykład ogień znajdujący się w bezpośredniej bliskości urządzeń próżniowych. W takiej sytuacji może dojść do wygenerowania wewnętrznego ciśnienia, przekraczającego maksymalne ciśnienie statyczne urządzenia, oraz temperatury przekraczającej temperaturę samozapłonu. Należy to uwzględnić w trakcie analizy zagrożeń urządzenia.
- **Przepływ gorącego gazu używanego w procesie** — wysoka temperatura doprowadzanego gazu może doprowadzić do zwiększenia wewnętrznej (lub zewnętrznej) temperatury powierzchni powyżej poziomu samozapłonu pompowanych substancji. Wysoka temperatura na wlocie gazu może także spowodować blokadę wirnika/statora. Maksymalna dozwolona temperatura gazów wewnętrznych jest określona w treści instrukcji obsługi pompy próżniowej. W tej sprawie należy się skonsultować z firmą Edwards.
- **Reakcja katalityczna** — obecność niektórych materiałów może spowodować zapłon katalityczny. Należy uwzględnić ewentualne działanie tego typu dla wszystkich materiałów użytych do konstrukcji systemu próżniowego na pompowane gazy i opary.
- **Materiał samozapalny** — ciepło spalania materiałów samozapalnych spowodowanego przedostaniem się powietrza lub utleniacza może stanowić źródło zapłonu dla występujących w tym miejscu materiałów łatwopalnych. Zob. [Materiały samozapalne](#) na stronie 11.
- **Elektryczność statyczna** — może dojść do sytuacji, w której elektryczność statyczna nagromadzona na elementach izolowanych jeszcze przed uziemieniem spowoduje powstanie iskry. W trakcie projektowania układu należy uwzględnić możliwość nagromadzenia elektryczności statycznej.
- **Oświetlenie** — w trakcie pracy na terenach otwartych energia do zapłonu może zostać dostarczona przez promieniowanie słoneczne. W trakcie projektowania układu należy uwzględnić możliwość wystąpienia takiego zjawiska.

6.9 Podsumowanie — projektowanie układu

Projekt bezpiecznego systemu pomp próżniowych powinien uwzględniać następujące elementy. Możliwe są także inne elementy w zależności od zastosowania.

- W przypadku pompowania substancji niebezpiecznych należy zaprojektować układ na bezpieczne wystąpienie jego awarii.
- Stosować oleje PFPE (perfluoropolieterowe) w urządzeniach pompujących utleniacze.

- Tam, gdzie gaz obojętny jest używany do obniżenia stężenia gazu łatwopalnego poniżej dolnej granicy wybuchowości lub zapalności albo poniżej minimalnej lub dolnej wartości stężenia utleniacza, należy zapewnić odpowiednie doprowadzenie gazu obojętnego.
- Stężenie może przekraczać górną granicę wybuchowości lub zapalności, ale należy podjąć odpowiednie środki zaradcze, aby nie dopuścić do tego, by spadło do wartości z zakresu zapalności.
- Przed użyciem przeprowadzić test szczelności systemów i urządzeń.
- Rozrzedzić gazy samozapalne do bezpiecznego poziomu za pomocą gazu obojętnego, zanim przedostaną się do atmosfery lub wymieszają z utleniaczami.
- Zapobiegać kontaktowi azydku sodu z metalami ciężkimi na całej drodze przepływu gazu w układzie.
- Maksymalne ciśnienie układu nie może przekroczyć indywidualnego, bezpiecznego poziomu ciśnienia jakiegokolwiek elementu w układzie.
- Należy zawsze zapoznać się z instrukcjami bezpieczeństwa dołączonymi do substancji przeznaczonych do pompowania.
- Rozważyć użycie pomp suchych zamiast pomp próżniowych z uszczelnieniem olejowym: rotacyjnej łopatkowej lub tłokowej w przypadku zagrożeń związanych z obecnością oleju w pojemności skokowej.
- Tam, gdzie pompy próżniowe Edwards są używane do tłoczenia potencjalnie łatwopalnych mieszanin, należy uwzględnić wszystkie możliwe źródła zapłonu oraz ewentualne konsekwencje wybuchu.

7. Dobór właściwych urządzeń

Aby dobrać właściwe urządzenia do wybranego zastosowania, należy uwzględnić ograniczenia, w ramach których będzie funkcjonował dany układ. Dane techniczne urządzeń firmy Edwards zostały podane w katalogu produktów, a także w instrukcjach obsługi poszczególnych urządzeń. W większości przypadków na żądanie można uzyskać dalsze informacje. W celu uzyskania dalszych szczegółów prosimy skontaktować się z firmą Edwards.

W trakcie projektowania systemu próżniowego należy uwzględnić następujące parametry pompy mechanicznej:

- Maksymalne ciśnienie statyczne (układu wlotowego i wylotowego).
- Maksymalne ciśnienie robocze układu wlotowego.
- Maksymalne robocze ciśnienie wylotowe.
- Przewodność podzespołów układu wlotowego i wylotowego.
- Specyfikacje ciśnieniowe pozostałych podzespołów zamontowanych w pompie.
- Monitorowanie ciśnienia w przypadku zatkania przewodu wylotowego.

W przypadku rotacyjnej pompy łopatkowej lub tłokowej z uszczelnieniem olejowym należy również uwzględnić m.in. następujące czynniki:

- Natężenie przepływu balastu gazowego.
- Natężenie przepływu spustowego skrzyni olejowej.
- Gazy i opary uwięzione w skrzyni olejowej.
- Gazy i opary wchłonięte przez olej w skrzyni olejowej.

Maksymalne ciśnienie statyczne określa maksymalny poziom ciśnienia, na które może zostać wystawione połączenie wlotowe lub wylotowe pompy podczas jej zastoju. Wartość tego ciśnienia jest uzależniona od mechanicznej konstrukcji pompy.

Rotacyjne pompy łopatkowe lub tłokowe z uszczelnieniem olejowym zostały zaprojektowane na funkcjonowanie przy wartościach ciśnienia w układzie wlotowym równych lub mniejszych od ciśnienia atmosferycznego. Nawet jeżeli wartość znamionowa maksymalnego ciśnienia statycznego przekracza wartość ciśnienia atmosferycznego, maksymalne ciśnienie układu wlotowego funkcjonującej pompy nie może przekroczyć wartości ciśnienia atmosferycznego. Niektórzy producenci ograniczają stałe ciśnienie układu wlotowego pomp do wartości poniżej ciśnienia atmosferycznego. Maksymalne ciśnienie układu wlotowego funkcjonującej pompy jest określane jako maksymalne ciśnienie robocze.

Przyczyna ograniczenia maksymalnego ciśnienia roboczego niekoniecznie jest związana ze stopniem integralności mechanicznej pompy. Wartość maksymalnego ciśnienia jest zazwyczaj proporcjonalna do mocy znamionowej pompy przy wysokich wartościach ciśnienia w układzie wlotowym i powiązana z potencjalnym zagrożeniem przegrzania podzespołów mechanicznych pompy lub silnika elektrycznego.

Z podobnych przyczyn zaleca się utrzymanie ciśnienia wylotowego pompy próżniowej na jak najniższym poziomie (zazwyczaj wynoszącym 0,15 bara ciśnienia manometrycznego ($1,15 \times 10^5$ Pa) lub mniej przy stałej pracy). Układy wylotowe pomp są zazwyczaj pozbawione ograniczeń, a ciśnienie wylotowe wynoszące 0,15 bara ciśnienia manometrycznego ($1,15 \times 10^5$ Pa) jest zazwyczaj wystarczająco wysokie na przeprowadzenie gazów wylotowych przez system wymuszonego wylotu i urządzenia przetwarzające.

7.1 Rotacyjne pompy łożatkowe i tłokowe z uszczelnieniem olejowym

Do pomp rotacyjnych Edwards z uszczelnieniem olejowym należą rotacyjne pompy łożatkowe z serii E1M, E2M, ES i RV oraz uszczelnione pompy tłokowe z oferty Microvag. Zazwyczaj wszystkie pompy próżniowe zostały zaprojektowane na funkcjonowanie przy wartościach ciśnienia układu wlotowego niższych od ciśnienia atmosferycznego i na swobodne wentylowanie układu wylotowego do atmosfery.

Rotacyjne pompy łożatkowe i tłokowe z uszczelnieniem olejowym to sprężarki wyporowe, które są w stanie wygenerować bardzo wysokie wartości ciśnienia wylotowego w przypadku zatkania lub ograniczenia wylotu. W takiej sytuacji ciśnienie może przekroczyć bezpieczną wartość ciśnienia statycznego skrzyni olejowej pompy i w wielu przypadkach bezpieczną wartość ciśnienia statycznego podzespołów jednostrumieniowych (np. płuczek polipropylenowych lub złączy z pierścieniami uszczelniającymi typu „O”). Dlatego Edwards zdecydowanie zaleca, aby na przewodzie wylotowym pompy zainstalować niezawodny system kontroli ciśnienia wylotowego.

Aby zapewnić bezpieczny poziom rozrzedzenia gazu, zawór balastu gazowego został poszerzony o układ spustowy skrzyni olejowej (jeżeli jego zamontowanie było możliwe) połączony ze skrzynią olejową na pompie. Zwiększenie natężenia przepływu w zaworze balastu gazowego, jak i w układzie spustowym skrzyni olejowej, powodują zwiększenie oleju transportowanego do układu wylotowego.

Wszystkie uszczelniane olejowo pompy firmy Edwards dysponują znaczącą pojemnością skrzyni olejowej, co umożliwia utrzymanie mieszanin gazów łatwopalnych i wybuchowych. Olej w skrzyni olejowej może skutecznie wchłaniać lub skraplać produkty uboczne w postaci oparów i gazów. Opary i gazy uwięzione w oleju mogą mieć charakter samozapalny lub toksyczny. Dlatego też należy przestrzegać specjalnych procedur postępowania, mających na celu zachowanie bezpieczeństwa w trakcie konserwacji.

7.2 Suche pompy Edwards

Poziom maksymalnego ciśnienia roboczego jest ograniczony tymi samymi czynnikami, co w przypadku pomp uszczelnionych olejowo (tzn. potencjalnym ryzykiem przegrzania podzespołów mechanicznych pompy lub silnika elektrycznego).

Suche pompy Edwards to sprężarki wyporowe, które są w stanie wygenerować bardzo wysokie wartości ciśnienia wylotowego. Do włączenia pomp do układu, w którym produktami ubocznymi procesu technologicznego są cząstki stałe (jak również w razie prawdopodobieństwa blokady przewodu wylotowego), Edwards stanowczo zaleca montaż urządzenia o wysokiej integralności, służącego do monitorowania ciśnienia wylotowego. Informacje na temat konfiguracji przełączników względem wartości ciśnienia roboczego znajdują się w instrukcji obsługi pompy.

Suche pompy Edwards dysponują wysokowydajną zdolnością do balastowania gazu. Dodatkowy gaz rozrzedzający (np. azot) można doprowadzać do mechanizmu pompy w celu zoptymalizowania mechanizmów tłumienia reakcji. Informacja na temat natężenia przepływu gazu do płukania znajduje się w instrukcji obsługi pompy.

7.3 Projektowanie rur

7.3.1 Mieszek

Mieszek to krótki element układu o cienkich ścianach i głębokim uzwojeniu. Wykorzystuje się go do ograniczenia drgań przenoszonych z pompy do systemu próżniowego.

Należy zawsze go montować w linii prostej z obydwoma końcami zamocowanymi na sztywno. Prawidłowo zamontowany mieszek może znosić małe wielkości nadciśnienia wewnętrznego (szczegółowe informacje znajdują się w instrukcji obsługi dołączonej do mieszka). Nie wolno korzystać z mieszka w układach wylotowych suchych pomp. W zamian należy użyć elastycznych przewodów wydmuchowych w oplocie (patrz rozdział „Rury elastyczne” Rury elastyczne *Rury elastyczne* na stronie 30).

W przypadku częstych cykli produkcyjnych należy uwzględnić prawdopodobieństwo awarii mieszka pod wpływem zmęczenia materiału.

7.3.2 Rury elastyczne

Rury elastyczne mają grubsze ściany i płytsze uzwojenie niż mieszek. Rury elastyczne stanowią wygodne rozwiązanie na połączenie elementów systemu próżniowego i umożliwiają zrównoważenie nierówności lub małych przesunięć w sztywnych przewodach próżniowych. Rury elastyczne można wygiąć pod stosunkowo dużym kątem ostrym, a po wygięciu utrzymują dane ustawienie.

Rury elastyczne są przeznaczone do montażu w układach statycznych. Nie są one przystosowane do powtarzanego wyginania. Może to doprowadzić do ich awarii wskutek zmęczenia materiału.

W przypadku korzystania z rur elastycznych należy stosować najkrótsze możliwe ich odcinki i unikać zbędnych wygięć. Tam, gdzie jest możliwość wystąpienia wysokiego ciśnienia wylotowego, należy stosować elastyczne przewody wydmuchowe w oplocie.

Elastyczny przewód wydmuchowy w oplocie to mieszek z zewnętrzną warstwą zabezpieczającą wykonaną z opłotu ze stali nierdzewnej. W trakcie montażu elastycznego przewodu wydmuchowego w oplocie należy zachować zgodność z wartością minimalnego kąta wygięcia podaną w instrukcji obsługi dołączonej do tego przewodu.

7.3.3 Punkty kotwiczenia

Rury i części rur muszą być kotwiczone w prawidłowy sposób. Przykładowo, nieprawidłowe zakotwiczenie mieszka nie pozwoli na zmniejszenie drgań generowanych przez pompę, a w konsekwencji doprowadzi do zmęczenia materiału rur.

7.3.4 Uszczelnienie

Jeżeli dla którejkolwiek części systemu próżniowego istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia nadciśnienia (nawet w przypadku awarii), należy posłużyć się odpowiednim rodzajem uszczelnienia i materiału, które odznacza się wytrzymałością na przewidziane wartości podciśnienia, jak i nadciśnienia.

7.4 Zabezpieczenie fizyczne przed nadciśnieniem

Zgodnie z tym, co napisaliśmy wcześniej, nadciśnienie może powstać wskutek ograniczenia lub zatkania układu albo któregoś z jego podzespołów. Nadciśnienie może wystąpić jako efekt przepływu sprężonego gazu z pompy lub z zewnętrznego urządzenia doprowadzającego sprężony gaz (np. stanowiącego część układu rozrzedzania gazu). Są dwie podstawowe metody ochrony systemu przed nadciśnieniem: spuszczenie ciśnienia oraz alarm zmiany / nadciśnienia, opisane w kolejnych częściach instrukcji.

7.4.1 Upust ciśnienia

Do redukcji nadmiaru ciśnienia można posłużyć się membranami bezpieczeństwa lub zaworami upustowymi ciśnienia. Ciśnienie robocze urządzenia musi być mniejsze od ustalonego ciśnienia znamionowego układu. Urządzenia tego rodzaju należy podłączyć za pomocą odpowiednich przewodów do obszaru pozwalającego na bezpieczny upust gazów używanych w procesie i niepodlegającego ograniczeniom dotyczącym wentylacji. Jeżeli produktami ubocznymi procesu produkcyjnego są cząstki stałe, należy dokonywać regularnych przeglądów zaworów upustowych ciśnienia w celu sprawdzenia, czy nie doszło do ich zatkania lub ograniczenia. W trakcie projektowania zastosowania tego typu urządzeń zabezpieczających należy wziąć pod uwagę wpływ pulsacji ciśnienia na trwałość zmęczeniową materiału membrany bezpieczeństwa lub zużycie zaworu.

7.4.2 Alarm/samoczynny wyłącznik nadciśnienia

Jest to metoda zabezpieczenia często stosowana przez firmę Edwards. Ten rodzaj ochrony zaleca się dla każdego układu, jest jednak szczególnie odpowiedni dla układów, w których dochodzi do powstania stałych produktów ubocznych.

7.4.3 Regulatory ciśnienia

Istnieją dwa główne rodzaje regulatorów ciśnienia: wentylujące i niewentylujące.

Regulatory wentylujące przewodzą gaz do atmosfery lub do oddzielnego przewodu wentylacyjnego, utrzymując stały poziom ciśnienia wylotowego w przypadku braku przepływu. Regulatory wentylujące są zazwyczaj używane w sytuacjach, kiedy integralność rur ma najwyższe znaczenie.

Regulatory niewentylujące utrzymują wyłącznie stały poziom ciśnienia wylotowego w przypadku braku przepływu.

W warunkach braku przepływu ciśnienie wylotowe niektórych regulatorów może wzrosnąć powyżej poziomu ciśnienia doprowadzanego gazu. Wartość wzrostu jest uzależniona od właściwości regulatora i wielkości, z którą jest połączony wylot. Wzrost może trwać od kilku minut do kilku miesięcy.

Regulatory ciśnienia nie są zaworami odcinającymi, dlatego w sytuacjach wymagających odcięcia przepływu należy używać ich w połączeniu z odpowiednimi urządzeniami odcinającymi (np. zaworami elektromagnetycznymi). Ewentualnie należy dokonywać pomiarów i redukować nadmiar ciśnienia do bezpiecznego poziomu.

7.4.4 Ustalacze płomienia

Ustalacze płomienia nie służą do zapobiegania wybuchom. Mają one na celu zapobieganie rozprzestrzenianiu się płomieni wzdłuż rury lub kanału (patrz rozdział „Korzystanie z ustalaczy płomienia” Korzystanie z ustalaczy płomienia [Korzystanie z ustalaczy płomienia](#) na stronie 24). Ustalacze płomienia dysponują dużą powierzchnią i małymi otworami przewodzącymi, zwróconymi w stronę czoła płomienia, powodując wygaszenie ognia. Ustalacze płomienia są typowo przystosowane do wykorzystania w układach odprowadzania gazów lub oparów.

Wraz ze wzrostem ciśnienia zwiększa się energia wybuchu mieszaniny gazowej. Większość ustalaczy płomienia została zaprojektowana na zabezpieczenie obszarów, w których poziom ciśnienia wewnętrznego nie przekracza wartości ciśnienia atmosferycznego. Należy pamiętać o tym, że ciśnienie robocze w systemie wymuszonego wylotu prowadzące gaz do ustalacza płomienia nie może przekraczać maksymalnego ciśnienia roboczego. Jednak w przypadku

ustalaczy płomienia certyfikowanych do użycia razem z suchymi chemicznymi pompami próżniowymi Edwards maksymalne dozwolone wartości ciśnienia są określone w instrukcji obsługi ATEX. Należy także uwzględnić maksymalną dozwoloną wartość ciśnienia zwrotnego dla pompy próżniowej.

Ustalacze płomienia odcinają ciepło spalania od czoła płomienia, zapewniając dzięki temu maksymalną bezpieczną temperaturę roboczą. Ta wartość temperatury nie może wzrosnąć pod wpływem ogrzewania śladowego, izolacji lub temperatury przepływu gazu, przeprowadzanego przez urządzenie.

Zdolność do odcinania płomienia jest uzależniona od prędkości czoła płomienia, która z kolei jest uzależniona od odległości od źródła zapłonu. Urządzenia do odcinania płomienia stosowane w chemicznych pompach próżniowych Edwards muszą być ściśle złączone z układem wlotowym i wylotowym. W określonych warunkach można posłużyć się kolankami i trójnikami do połączenia pompy oraz ustalaczem płomienia. W tej kwestii należy skonsultować się z firmą Edwards.

7.5 Układy odprowadzania gazu

Układy przepłukiwania gazem obojętnym służą do odprowadzenia pozostałości gazów używanych w procesie w układzie po zakończeniu cyklu produkcyjnego.

Właściwe użycie tych urządzeń umożliwia usunięcie substancji żrących, zapobiegając uszkodzeniu pompy oraz, co ważniejsze, uszkodzeniu układów zabezpieczających, np. ustalaczy płomienia. Oprócz tego usunięcie gazów używanych w procesie zapobiega powstaniu nieprzewidzianych i potencjalnie niebezpiecznych reakcji chemicznych pomiędzy substancjami użytymi w różnych cyklach produkcyjnych.

7.6 Podsumowanie — dobór właściwych urządzeń

- Dobrać właściwy rodzaj urządzenia do danego zastosowania.
- Uwzględnić wszystkie odpowiednie urządzenia zabezpieczające, niezbędne do zachowania bezpieczeństwa w przypadku awarii.
- Usunąć przepływy stagnacyjne.
- Sprawdzić, czy zachowane jest odpowiednie sterowanie i regulacja układu.
- W razie konieczności zastosować urządzenia upustowe ciśnienia.
- W razie konieczności zastosować ustalacze płomienia.
- Przeprowadzić test szczelności układu i urządzeń przed ich użyciem.

8. Procedury robocze i szkolenia

Bezpieczna praca z urządzeniami wymaga odpowiedniego szkolenia, jasnych i precyzyjnych instrukcji postępowanie oraz przestrzegania regularnej konserwacji. Ważną rzeczą jest, aby personel pracujący z urządzeniami próżniowymi został odpowiednio przeszkolony, posiadał odpowiednie kwalifikacje i w razie potrzeby był właściwie nadzorowany.

W razie wątpliwości dotyczących obsługi lub bezpieczeństwa, związanych z urządzeniami firmy Edwards, należy skonsultować się z naszą firmą.

9. Podsumowanie

- Należy wykonać ocenę ryzyka, aby rozpoznać i w miarę możliwości wyeliminować wszelkie zagrożenia lub je złagodzić. Zalecenie to dotyczy projektu systemu próżniowego, jego budowy, odbioru, eksploatacji, konserwacji, a także wyłączenia z eksploatacji.
- Należy uwzględnić wszystkie reakcje chemiczne, jakie mogą zajść w danym układzie. Uwzględnić nieprawidłowe reakcje chemiczne, wliczając reakcje powstałe wskutek uszkodzenia.
- Stosować się do informacji zawartych na arkuszu danych bezpieczeństwa materiałów w trakcie oceny potencjalnych zagrożeń związanych z materiałami produkcyjnymi, na przykład w kwestii ich samozapłonu.
- Stosować techniki rozrzedzania w celu minimalizowania reakcji utleniaczy i substancji łatwopalnych.
- Użyć odpowiedniego rodzaju środka smarnego do pompy w trakcie pompowania utleniaczy i materiałów samozapalnych.
- W procesie produkcyjnym wykorzystującym azydek sodu zapobiegać wystąpieniu elementów zawierających metale ciężkie na drodze przepływu gazu w systemie pomp.
- W trakcie obliczania norm bezpieczeństwa należy pamiętać o uwzględnieniu bezpiecznej wartości ciśnienia roboczego dla wszystkich podzespołów układu. Należy koniecznie uwzględnić nienormalne warunki pracy oraz uszkodzenie urządzenia.
- Sprawdzić, czy zamontowany rodzaj urządzeń upustowych jest odpowiedni dla układu i dopasowany do danego zastosowania.
- Sprawdzić, czy w trakcie pracy urządzenia nie doszło do blokady wylotu.
- Sprawdzić, czy urządzenia rozrzedzające gaz są odpowiednio wyregulowane i monitorowane.
- W przypadku pompowania substancji niebezpiecznych należy zaprojektować układ na bezpieczne wystąpienie jego awarii.
- Stosować olej i smary PFPE (perfluoropolietery) w urządzeniach pompujących utleniacze.
- Przy użyciu gazu obojętnego rozcieńczyć gaz łatwopalny i samozapalny do bezpiecznego poziomu, tak aby nie przekroczyć górnych limitów zapalności / wybuchowości po uwzględnieniu odpowiednich czynników bezpieczeństwa we wszystkich warunkach technologicznych, również podczas awarii.
- Maksymalne ciśnienie układu nie może przekroczyć indywidualnego, maksymalnego ciśnienia znamionowego jakiegokolwiek elementu w układzie.
- Rozważyć użycie suchych pomp zamiast pomp uszczelnionych olejowo w przypadku zagrożeń związanych z obecnością oleju w pojemności skokowej.
- Usunąć przepływy stagnacyjne.
- Sprawdzić, czy zachowane jest odpowiednie sterowanie i regulacja układu.
- W razie konieczności zastosować ustalacze płomienia.
- Przeprowadzić test szczelności układu i urządzeń przed ich użyciem.

