

## Instalacja do magazynowania energii w skroplonym powietrzu z modułem separacji tlenu

Przedmiotem wynalazku jest adiabatyczna instalacja do magazynowania energii w skroplonym powietrzu z modułem separacji tlenu.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną jest zmienną dynamiczną zależną od wielu czynników. Prawo energetyczne w Polsce nakazuje pierwokup energii z odnawialnych źródeł, które cechują się dużą niestabilnością i nieprzewidywalnością. W Polsce jest to głównie energia wiatrowa. Aby zapewnić prawidłową pracę krajowego systemu elektroenergetycznego konieczne jest utrzymanie rezerw w źródłach centralnie sterowalnych. Bloki parowe, obecnie pracujące w Polsce, cechują się niewielkimi możliwościami zmiany mocy przy zachowaniu wysokiej sprawności oraz powolnym rozruchem spowodowanym głównie występowaniem dużych naprężeń w kotłach. Dlatego magazynowanie energii może odegrać znaczącą rolę w funkcjonowaniu krajowego systemu elektroenergetycznego.

Z opisu patentowego US 2017016577 znany jest system magazynowania energii w skroplonym powietrzu z odzyskiem ciepła i chłodu, zawierający układ do sprężania powietrza i wstępnego schłodzenia w wymiennikach ciepła. Następnie powietrze jest rozprężane na turbinie, gdzie częściowo się wykrapla, a także możliwy jest odzysk części energii włożonej w jego sprężanie. Skroplone powietrze jest magazynowane. Podczas rozładowania magazynu skroplone powietrze oddaje część chłodu a następnie rozpręża się na turbinie, umożliwiając odzysk energii.

Z opisu patentowego US2009282840 znany jest układ do magazynowania energii w skroplonym powietrzu wraz z separacją strumienia powietrza na strumień wzbogacony w tlen i wzbogacony w azot, w którym powietrze dostarczane do instalacji jest ochładzane w dwóch wymiennikach ciepła a następnie częściowo się wykrapla w wyniku przepuszczenia strumienia przez zawór dławiący, po czym jest kierowane do zbiornika. Zbiornik ten

posiada dwa wyloty – jeden na dole, którym może płynąć strumień czynnika skroplonego wzbogacony w azot, który szybciej się wykrapla, oraz drugi wylot u góry – którym może płynąć strumień gazowy powietrza wzbogaconego w tlen.

Z opisu patentowego US 2002020165 znany jest układ do magazynowania energii w skroplonym powietrzu z modułem do destylacji skroplonego powietrza współpracujący z turbiną gazową. W rozwiązaniu tym klasyczny turbozespół gazowy pracujący na przykład na gaz ziemny, współpracuje z układem magazynowania energii w ciekłym powietrzu poprzez rozprężanie strumienia zregazyfikowanego powietrza wraz ze spalinami na turbinie. Układ ten posiada dwa wloty powietrza, jeden do instalacji turbiny gazowej i drugi do instalacji magazynowania energii. Cały strumień powietrza skierowanego do magazynowania po chłodzeniu i skropleniu jest kierowany na kolumnę, gdzie zachodzi destylacja. Strumień wzbogacony w tlen jest magazynowany w osobnym zbiorniku i traktowany jest jako produkt instalacji. Strumień wzbogacony w azot jest kierowany na turbinę, gdzie rozpręża się wraz ze spalinami układu turbozespołu gazowego generując energię elektryczną.

Celem wynalazku jest opracowanie ekonomicznie opłacalnej instalacji do magazynowania energii elektrycznej w skroplonym powietrzu z modułem separacji tlenu i układem regazyfikacji umożliwiającym częściowy odzysk energii regazyfikacji.

Instalacja do magazynowania energii w skroplonym powietrzu z modułem separacji tlenu, wyposażona w instalację upłynniania powietrza z wielostopniowym układem chłodzenia, zbiornik do magazynowania fazy ciekłej, obwód recyrkulacji fazy gazowej, oraz układ regazyfikacji fazy ciekłej z obwodem regazyfikacji łączącym zbiornik magazynujący z turbiną gazową połączoną z generatorem energii elektrycznej, przy czym w skład instalacji upłynniania powietrza wchodzi pierwszy wielostrumieniowy wymiennik ciepła z obiegami chłodniczymi połączonymi z innymi wymiennikami ciepła w układzie regazyfikacji, według wynalazku charakteryzuje się tym, że moduł separacji tlenu składa się z kolumny destylacyjnej połączonej przewodem dolotowym z obwodem regazyfikacji poprzez podzielnik strumienia przyłączony do obwodu regazyfikacji pomiędzy zbiornikiem magazynującym a pierwszą pompą kriogeniczną, oraz poprzez pierwszy przewód wylotowy strumienia gazu wzbogaconego w azot, przyłączony do obwodu regazyfikacji pomiędzy pierwszą pompą kriogeniczną a drugą pompą kriogeniczną poprzez mieszalnik płynów, zaś drugi przewód wylotowy strumienia gazu wzbogaconego w tlen jest połączony z odcinkiem wylotowym modułu separacji tlenu poprzez trzecią pompę kriogeniczną i końcowy wymiennik ciepła. Końcowy wymiennik wchodzi w skład

trzeciego obiegu chłodniczego pierwszego wielostrumieniowego wymiennika ciepła razem z połączonym z nim trzecim zbiornikiem czynnika zimnego i trzecim zbiornikiem czynnika ciepłego. W skład pierwszego obiegu chłodniczego pierwszego wielostrumieniowego wymiennika ciepła wchodzi pierwszy wymiennik ciepła układu regazyfikacji oraz pierwszy zbiornik czynnika zimnego i pierwszy zbiornik czynnika ciepłego. W skład drugiego obiegu chłodniczego pierwszego wielostrumieniowego wymiennika ciepła wchodzi drugi wymiennik ciepła układu regazyfikacji, oraz drugi zbiornik czynnika zimnego i drugi zbiornik czynnika ciepłego. Trzeci wymiennik ciepła układu regazyfikacji, do którego jest przyłączony czwarty zbiornik czynnika zimnego i czwarty zbiornik czynnika ciepłego, wchodzi w skład instalacji chłodzącej wielostopniowego układu chłodzenia.

W korzystnym wykonaniu instalacji, drugi wymiennik ciepła układu regazyfikacji stanowi wymiennik wielostrumieniowy posiadający czwarty obieg chłodniczy, w skład którego wchodzi dodatkowy wymiennik zamontowany na wyjściu turbiny gazowej. Ponadto w skład instalacji chłodzącej wielostopniowego układu chłodzenia wchodzi czwarty zbiornik czynnika ciepłego, czwarty zbiornik czynnika zimnego, rozdzielacz czynnika chłodzącego połączony z wymiennikami wielostopniowego układu chłodzenia, oraz mieszalnik wyjściowy zainstalowany pomiędzy tymi wymiennikami a czwartym zbiornikiem czynnika ciepłego.

W rozwiązaniu według wynalazku w jednej instalacji następuje skraplanie i regazyfikacja powietrza, z możliwością magazynowania energii, separacji tlenu, oraz odzysku energii regazyfikacji. W tym celu do instalacji do skraplania i regazyfikacji powietrza został przyłączony moduł separacji tlenu, zapewniający uzyskanie wysokiej czystości tlenu. Ponadto energia regazyfikacji medium jest wykorzystywana w procesie skraplania powietrza za pomocą szeregu wymienników ciepła w wielostopniowym układzie chłodzenia powietrza i w układzie regazyfikacji. Do magazynowania energii zastosowano zbiorniki czynnika zimnego i ciepłego w obiegach chłodniczych. Użycie modułu separacji tlenu jest opcjonalne.

Wynalazek jest objaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat technologiczny instalacji do adiabatycznego magazynowania energii w skroplonym powietrzu z modułem separacji tlenu, a fig. 2 przedstawia schemat blokowy instalacji.

Jak przedstawiono na fig. 1, magazynowanie energii w skroplonym powietrzu składa się z procesu skraplania powietrza poprzez sprężanie, wstępne chłodzenie oraz

zdlawienie i przechowywanie fazy ciekłej w zaizolowanych zbiornikach. Odzysk energii następuje poprzez regazyfikację przechowywanego w stanie ciekłym medium i wykorzystanie do generacji energii elektrycznej poprzez ekspansję w turbinie gazowej. Nie występuje przy tym proces spalania jakiegokolwiek paliwa. Układ zużywa energię elektryczną, aby schłodzić powietrze przed procesem skraplania. Turbina gazowa jest połączona jest z generatorem, co pozwala na ponowne uzyskanie energii elektrycznej w dogodnym czasie. Cały proces może być podzielony na trzy fazy: ładowanie, magazynowanie i rozładowanie. Ładowanie rozpoczyna się, gdy zachodzi potrzeba magazynowania energii, zwykle wtedy, gdy występuje nadwyżka energii w sieci i jest ona relatywnie tania. Energia elektryczna jest używana do zasilenia sprężarek. Następnie gaz jest wstępnie chłodzony i trafia na zawór dławiący, gdzie w wyniku negatywnego efektu Joule'a-Thomsona ochładza się i częściowo skrapla. Następnie faza ciekła jest magazynowana. Kiedy zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrasta, ciśnienie ciekłego medium jest podnoszone pompą kriogeniczną. W kolejnej fazie następuje ogrzewanie medium i jego regazyfikacja za pomocą zmagazynowanego wcześniej czynnika chłodniczego pracującego w obiegu z wymiennikami ciepła. Następnie gaz kierowany jest na turbinę połączoną z generatorem w celu odzyskania energii. Aby poprawić efektywność ekonomiczną magazynowania do instalacji dodano moduł separacji tlenu przyłączony do zbiornika magazynowego 15 poprzez podzielnik 16. Rozwiązanie to umożliwia przekierowanie części strumienia ciekłego medium na kolumnę destylacyjną 18, gdzie zachodzi proces separacji tlenu i azotu. Sterowanie podziałem strumieni wylotowych za pomocą podzielnika strumienia 16 na wylocie ze zbiornika magazynowego 15 umożliwia uzyskanie maksymalizację zwrotu nakładów w zależności od aktualnej ceny energii elektrycznej i zapotrzebowania na tlen uzyskiwany opcjonalnie w kolumnie destylacyjnej 18 modułu separacji tlenu. Sterowanie produkcją tlenu i wytwarzaną energią elektryczną pozwala na optymalizację ekonomiczną systemu.

Jak przedstawiono na fig. 2, instalacja do magazynowania energii w skroplonym powietrzu z modułem separacji tlenu, jest wyposażona w instalację upłynniania powietrza z wielostopniowym układem chłodzenia, zbiornik do magazynowania fazy ciekłej, obwód recyrkulacji 14 fazy gazowej, oraz układ regazyfikacji fazy ciekłej z obwodem regazyfikacji 23 łączącym zbiornik magazynujący 16 z turbiną gazową 30 połączoną z generatorem energii elektrycznej. W skład instalacji upłynniania powietrza wchodzi pierwszy wielostrumieniowy wymiennik ciepła 9 z obiegami chłodniczymi połączonymi z innymi wymiennikami ciepła w układzie regazyfikacji. Instalacja upłynniania powietrza

obejmuje przyłącze 1 strumienia wlotowego powietrza połączone z wielostopniowym układem chłodzenia poprzez mieszalnik powietrza 2. Wielostopniowy układ chłodzenia składa się z kolejnych stopni sprężania powietrza z pierwszym 4, drugim 6 i trzecim 8 wymiennikiem ciepła oraz pierwszą 3, drugą 5 i trzecią 7 sprężarką fazy gazowej. Schłodzone powietrze jest doprowadzane do pierwszego wielostrumieniowego wymiennika 9, gdzie zachodzi kolejny proces schładzania. Zza pierwszego wymiennika wielostrumieniowego 9 strumień powietrza kierowany jest na zawór dławiący 10, gdzie w wyniku efektu Joule'a-Thompsona częściowo się wykrapla. Następnie powstały strumień dwufazowy trafia na separator faz 11, gdzie jest rozdzielany na fazę ciekłą i fazę gazową. Faza gazowa kierowana jest łącznikiem 13 na pierwszy wymiennik wielostrumieniowy 9 gdzie ogrzewa się, a następnie jest doprowadzana obwodem recyrkulacji 14 do mieszalnika powietrza 2, gdzie łączy się ze strumieniem gazu wlotowego. Faza ciekła kierowana łącznikiem fazy ciekłej 12 do zbiornika magazynującego 15. Gdy zapotrzebowanie na energię rośnie, rozpoczyna się proces regazyfikacji. Ciekłe powietrze ze zbiornika magazynującego 15 kierowane jest na podzielnik strumienia 16, gdzie następuje podział strumienia fazy ciekłej na strumień doprowadzany bezpośrednio do obwodu regazyfikacji 23 oraz na strumień doprowadzany przewodem dolotowym 17 do modułu separacji tlenu.

Moduł separacji tlenu składa się z kolumny destylacyjnej 18 połączonej przewodem dolotowym 17 z obwodem regazyfikacji 23 poprzez podzielnik strumienia 16 przyłączony do obwodu regazyfikacji 23 pomiędzy zbiornikiem magazynującym 15 i pierwszą pompą kriogeniczną 24, oraz poprzez pierwszy przewód wylotowy 48 strumienia medium wzbogaconego w azot, przyłączony do obwodu regazyfikacji 23 pomiędzy pierwszą pompą kriogeniczną 24 a drugą pompą kriogeniczną 26 poprzez mieszalnik płynów 25. Drugi przewód wylotowy 19 strumienia medium wzbogaconego w tlen jest połączony z odcinkiem wylotowym 22 modułu separacji tlenu poprzez trzecią pompę kriogeniczną 20 i wymiennik końcowy 21.

Wymiennik końcowy 21 wchodzi w skład trzeciego obiegu chłodniczego C pierwszego wielostrumieniowego wymiennika ciepła 9 razem z połączonym z nim trzecim zbiornikiem czynnika zimnego 36 i trzecim zbiornikiem czynnika ciepłego 37.

W skład pierwszego obiegu chłodniczego B pierwszego wielostrumieniowego wymiennika ciepła 9 wchodzi pierwszy wymiennik ciepła 27 obwodu regazyfikacji 23 oraz pierwszy zbiornik czynnika zimnego 32 i pierwszy zbiornik czynnika ciepłego 33.

W skład drugiego obiegu chłodniczego D pierwszego wielostrumieniowego wymiennika ciepła 9 wchodzi drugi wymiennik ciepła 28 układu regazyfikacji, oraz drugi

zbiornik czynnika zimnego 34 i drugi zbiornik czynnika ciepłego 35. Drugi wymiennik ciepła 28 układu regazyfikacji stanowi wymiennik wielostrumieniowy posiadający czwarty obieg chłodniczy E, w skład którego wchodzi dodatkowy wymiennik 31 zamontowany na wyjściu turbiny gazowej 30.

Trzeci wymiennik ciepła 29 obwodu regazyfikacji 23, do którego jest przyłączony czwarty zbiornik czynnika zimnego i czwarty zbiornik czynnika ciepłego 38, wchodzi w skład instalacji chłodzącej A wielostopniowego układu chłodzenia. W skład instalacji chłodzącej A wchodzi także czwarty zbiornik czynnika ciepłego 38, czwarty zbiornik czynnika zimnego 39, rozdzielacz czynnika chłodzącego połączony z wymiennikami 4, 6, 8 wielostopniowego układu chłodzenia i mieszalnik wyjściowy zainstalowany pomiędzy tymi wymiennikami a czwartym zbiornikiem czynnika ciepłego 38.

Strumień kierowany na kolumnę destylacyjną 18 zostaje poddany procesowi destylacji frakcyjnej. Kolumnę destylacyjną 18 opuszczają dwa strumienie: strumień medium wzbogacony w tlen, głównie tlen, oraz strumień medium zubożony w tlen a wzbogacony w azot, głównie azot. Ciśnienie strumienia medium wzbogaconego w tlen jest podnoszone przez trzecią pompę kriogeniczną 20 a następnie, po ogrzewaniu w wymienniku końcowym 21 i opuszcza układ wylotem 22, za którym może być przechowywany i dystrybuowany w specjalnych butlach ciśnieniowych. Ciśnienie strumienia medium kierowanego bezpośrednio do układu regazyfikacji jest podnoszone przez pierwszą pompę kriogeniczną 24 a następnie trafia na mieszalnik płynów 25, gdzie łączy się ze strumieniem medium zubożonego w tlen i jest dalej kierowany na drugą pompę kriogeniczną 26, gdzie podnoszone jest ciśnienie. Następnie jest ogrzewany w kolejnych wymiennikach ciepła, pierwszym 27, drugim 28 i trzecim 29. W wyniku ogrzewania w wymiennikach ciepła 27, 28, 29 następuje regazyfikacja strumienia medium, który trafia na turbinę 30, gdzie poprzez generator produkowana jest energia elektryczna. Strumień medium zza turbiny trafia na dodatkowy wymiennik 31, gdzie oddaje część ciepła a następnie opuszcza układ. Dodatkowy wymiennik 31 jest częścią czwartego obiegu chłodniczego E, do którego należy także drugi wymiennik ciepła 28.

Instalacja według wynalazku ma zastosowanie jako układ współpracujący z siecią energetyczną ze źródłami energii niesterowalnymi i nieprzewidywalnymi, takimi jak źródła odnawialne, w tym elektrownie wiatrowe. Magazynowanie energii pozwoli na zachowanie stabilności systemu przy dużych wahaniami produkcji energii elektrycznej. Dodanie modułu separacji tlenu podwyższa rentowność inwestycji ze względu na rosnące zapotrzebowanie i szerokie zastosowanie tego gazu.

RZECZNIK PATENTOWY

  
mgr inż. Jerzy Woźniak