

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana **mgr inż. Krzysztofa Kalinowskiego**
na temat

Integracja jednostkowych procesów podstawowych występujących w instalacji desorpcji benzolu z oleju płuczkowego

Zapotrzebowanie na koks dla metalurgii, głównie dla procesu wielkopiecowego, sprawia, że przemysł koksowniczy zachowuje od lat znaczącą pozycję w gospodarce światowej. Ważną częścią powszechnie stosowanej klasycznej technologii koksowania węgla jest przeróbka surowego gazu koksowniczego do wartościowych produktów węglowodnorodnych. Istotnym etapem tej przeróbki jest usunięcie lekkich węglowodorów aromatycznych i ich pochodnych, czyli surowego benzolu koksowniczego, ze strumienia gazu pozbawionego wcześniej smoły i amoniaku. Podręczniki z zakresu koksownictwa wymieniają trzy potencjalne metody usunięcia benzolu: absorpcję w olejach technicznych, adsorpcję na węglu aktywnym i wymrażanie, jednak tylko ta pierwsza metoda wykorzystywana jest powszechnie w praktyce. Węglowodory benzolowe wymywa się z gazu koksowniczego w strumieniu oleju płuczkowego w pracującej w przeciwnym kierunku kolumnie absorpcyjnej, po czym desorbuje się je z nasyconego oleju stosując destylację z parą wodną. Taki proces stosuje się powszechnie w koksowniach na terenie Polski.

Prowadzona od kilkunastu lat modernizacja krajowego przemysłu koksowniczego stwarza warunki do wprowadzenia nowoczesnych rozwiązań zgodnych z obowiązującymi w XXI wieku standardami. Dotyczy to również prostego z pozoru procesu desorpcji benzolu z oleju płuczkowego. W praktyce jest to złożona i trudna operacja, o istotnym znaczeniu dla funkcjonowania baterii koksowniczej w sposób ekonomiczny i bezpieczny dla środowiska. Praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Kalinowskiego dotyczy więc zagadnienia aktualnego i o dużym znaczeniu praktycznym dla kraju, wiodącego producenta koksu w Unii Europejskiej.

Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska obejmuje 178 stron maszynopisu, w tym 17 tabel i 74 rysunki. Zasadnicza część rozprawy jest zawarta w 5. rozdziałach

poprzedzonych wprowadzeniem a zakończonych podsumowaniem z wnioskami. Manuskrypt uzupełniają wykazy stosowanych skrótów oraz cytowanej literatury.

We wprowadzeniu Doktorant omawia zwięźle względy technologiczne, ekonomiczne i ekologiczne, które uzasadniają celowość, a nawet konieczność, wydzielania benzolu z gazu koksowniczego. Określa również cel pracy: „...wytyczenie nowych kierunków prowadzenia desorpcji benzolu z oleju płuczkowego z jednoczesną regeneracją tego adsorbentu, przy wykorzystaniu zaproponowanego rozwiązania Nowej Zintegrowanej Kolumny Odpędowej Benzolu – [NZKOP].” Zastosowanie NZKOP ma zapewnić optymalne warunki absorpcji benzolu z gazu koksowniczego pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego przy długotrwałym utrzymaniu parametrów chłonnych i hydraulicznych adsorbentu.

Rozdział 1 rozprawy zawiera podstawowe informacje na temat powstawania składników benzolowych w procesie koksowania mieszanki węglowej oraz wpływu warunków panujących w komorze na skład benzolu. Następnie Doktorant omawia szczegółowo równowagi absorpcji składników benzolu w oleju płuczkowym pod ciśnieniem atmosferycznym, konstrukcję adsorberów oraz właściwości absorpcyjne oleju płuczkowego i ich zmianę w wyniku regeneracji.

Desorpcja benzolu z oleju płuczkowego w koksowni jest złożoną operacją technologiczną na którą składa się 10 podstawowych procesów jednostkowych: wstępne (proces 1) i końcowe (2) podgrzewanie oleju płuczkowego, końcowe chłodzenie oleju (3), desorpcja węglowodorów benzolowych (4), rektyfikacja benzolu surowego (5), kondensacja par wodno-benzolowych (6), rozdział benzolu i wody (7), regeneracja oleju płuczkowego (8), usuwanie polimerów z oleju płuczkowego (9) i wydzielanie naftalenu (10). W Rozdziale 2 Doktorant przedstawia warianty procesów jednostkowych stosowanych w praktyce, omawia ich zalety i wady.

Instalacje desorpcji benzolu z oleju płuczkowego wykorzystywane w czynnych koksowniach znajdują się na różnym stopniu rozwoju technologicznego. W Rozdziale 3 rozprawy Doktorant systematyzuje występujące układy technologiczne węzła desorpcji według stopnia integracji aparaturowej i technologicznej procesów jednostkowych. Wyróżnia i charakteryzuje na tej podstawie 6 układów technologicznych:

- klasyczny układ z produkcją naftalenu i zastosowaniem pieca rurowego (układ 1),
- układ z wykorzystaniem jednej kolumny odpędowej benzolu i pieca rurowego (układ 2),
- układ z wykorzystaniem jednej kolumny odpędowej benzolu refluksowanej produktem i podgrzewacza parowego (układ 3),
- układ z wykorzystaniem Zintegrowanego Regeneratora Oleju Płuczkowego (układ 4),

- układ z intensyfikacją wymiany ciepła (układ 5),
- układ z wykorzystaniem Zintegrowanego Rozdzielacza Benzolu i Wody Separatorowej (układ 6).

W Rozdziale 4 rozprawy prezentuje Doktorant budowę i pracę nowoczesnych, o wysokim stopniu integracji, rozwiązań układu desorpcji benzolu opracowanych i wdrożonych przez Biuro Projektów Koksoprojekt sp. z o.o. przy wiodącym udziale Autora rozprawy. Zintegrowany Regenerator Oleju Płuczkowego - ZROP (układ technologiczny 4) pracuje z powodzeniem od roku 2008 w Koksowni Przyjaźń w Dąbrowie Górniczej i Wałbrzyskich Zakładach Koksowniczych „Victoria” S.A. W ZROP wprowadzona została integracja aparaturowa procesów regeneracji oleju płuczkowego i usuwania produktów polimeryzacji oleju z obiegu. Nowszym rozwiązaniem jest Zintegrowana Kolumna Odpędowa Benzolu (ZKOP), opisana jako układ technologiczny 7, w której połączono w jednej kolumnie proces desorpcji benzolu i regeneracji oleju płuczkowego. Układ taki został zastosowany w roku 2014 w Koksowni Przyjaźń i w Koksowni Radlin w instalacjach o przepustowości 240 i 90 m³/h, stanowiąc przełom technologiczny w zakresie technologii wydzielania benzolu. W rozdziale omówiono szczegółowo pracę kolumny przy zastosowaniu różnych wariantów regeneracji oleju. W podsumowaniu rozdziału przeanalizowano obserwacje zebrane w czasie kilkuletniej pracy ZROP i ZKOP w koksowniach.

Rozdział 5 poświęcony jest perspektywom dalszego postępu integracji aparaturowej i technologicznej układów desorpcji benzolu z oleju płuczkowego. Wykorzystując dotychczasowe doświadczenia przemysłowe Doktorant koncentruje się na procesie regeneracji oleju płuczkowego i wariantach ciągłego wyprowadzania polimerów. Na podstawie wyników zebranych w pięciu koksowniach, wykorzystujących instalacje zróżnicowane pod względem technologii i czasu eksploatacji, podejmuje próbę ilościowej charakterystyki procesu starzenia oleju płuczkowego. Postęp starzenia ocenia na podstawie właściwości oleju obiegowego kierowanego do regeneracji i polimerów wyprowadzanych z obiegu technologicznego, definiując charakteryzujące proces parametry: współczynniki i stopień regeneracji, liczbę olejową i umowną szybkość regeneracji. Ocenia też efekty stosowania różnych schematów ciągłego wyprowadzania polimerów. Na podstawie analizy tych procesów prezentuje koncepcję Nowej Zintegrowanej Kolumny Odpędowej Benzolu – NZKOP (układ technologiczny 8) z technologią ciągłego wyprowadzania polimerów z obiegu technologicznego. Połączenie NZKOP z kondensatorem oraz separatorem par wodno-benzolowych prowadzi do tzw. rozbudowanej kolumny NZKOP.

Ocena pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Kalinowskiego jest typową pracą technologiczną, niezbyt często spotykaną w ostatnich latach. Układ rozprawy jest raczej nietypowy ale praca zawiera wszystkie wymagane dla prac doktorskich elementy i stanowi logiczny i spójną całość.

Rozdziały 1-3 można uznać za prezentację stanu wiedzy, a zwłaszcza technologii w tematyce rozprawy. Literatura w tym zakresie nie jest bogata. Autor korzysta z kilku pozycji książkowych, prac publikowanych w specjalistycznych czasopismach i materiałach konferencyjnych a także materiałów niepublikowanych. Bardzo ważnym uzupełnieniem materiałów źródłowych są dane ruchowe uzyskane z polskich i zagranicznych koksowni. Na podkreślenie zasługuje bardzo dojrzały sposób dyskusowania poruszanych zagadnień, świadczący o ogromnej wiedzy i doświadczeniu Autora w tematyce rozprawy. Nie ogranicza się do przytaczania danych literaturowych, ale twórczo je wykorzystuje. Przykładem może być porównanie koncentracji benzolu w oleju odpędzonym wyznaczonych na podstawie obliczeń i modeli z wartościami zmierzonymi w pracujących instalacjach. W kilku miejscach pojawiają się jednak wątpliwości co do źródła zamieszczonych w pracy informacji, obliczeń czy rysunków. Nie jest jasne które z nich zostały zaczerpnięte bezpośrednio z literatury, a które są oryginalnym wkładem Autora, ew. kompilacją danych literaturowych. Należałoby częściej korzystać z odnośników literaturowych zamieszczając je również w podpisach rysunków i nagłówkach tabel, o ile pochodzą z publikowanych materiałów.

Osiągnięcia Doktoranta w zakresie integracji aparaturowej i technologicznej węzła desorpcji benzolu z oleju płuczkowego, przedstawione w Rozdziałach 4 i 5, oceniam bardzo wysoko. O ich oryginalności świadczy to, że są chronione 5 przyznanymi patentami i 2 zgłoszeniami patentowymi, a wymiernym efektem praktycznym są wdrożenia w kilku polskich koksowniach, w których z dużym powodzeniem działają od kilku lat. Z pewnością połączenie Zintegrowanej Kolumny Odpędowej Benzolu i Zintegrowanego Rozdzielacza Benzolu i Wody Separatorowej w jednej instalacji, pracujące od roku 2017 w Koksowni Radlin, należy pod względem kompaktowości, sprawności i bezpieczeństwa pracy do najnowocześniejszych funkcjonujących w koksownictwie światowym rozwiązań procesu desorpcji benzolu z oleju płuczkowego. Rozdział 5 należy, moim zdaniem, do najbardziej wartościowych części rozprawy. Za szczególnie interesujące i cenne uważam próbę ilościowej charakterystyki procesu starzenia oleju płuczkowego w oparciu o właściwości oleju obiegowego kierowanego do regeneracji i polimerów wyprowadzanych z obiegu technologicznego oraz dobrze udokumentowaną wizję dalszej integracji technologicznej

węzła desorpcji, wybiegającą poza rozwiązanie zaproponowane w Nowej Zintegrowanej Kolumnie Odpędowej Benzolu.

Jak wynika z dokumentacji nowatorskie rozwiązania, opatentowane i wdrożone w zakładach koksowniczych, są wynikiem pracy zespołu pracowników Biura Projektów Koksoprojekt sp. z o.o.. Doktorant był liderem międzynarodowego zespołu realizującego projekty badawcze w zakresie desorpcji benzolu, regeneracji oleju płuczkowego, kondensacji par wodno-benzolowych oraz rozdziału ich mieszaniny. Jest autorem lub współautorem kilku publikacji w specjalistycznych czasopismach oraz licznych prezentacji na branżowych konferencjach i seminariach. Jego wiodąca rola przy opracowaniu i wdrażaniu nowych rozwiązań nie budzi więc wątpliwości.

Rozprawa napisana jest poprawnie językowo i starannie pod względem redakcyjnym, z niewielką ilością błędów. Na podkreślenie zasługuje strona graficzna pracy. Omawiane zmiany konstrukcyjne i warianty funkcjonowania aparatów są ilustrowane przejrzystymi schematami, których uzupełnieniem są zdjęcia rzeczywistych instalacji pracujących w koksowniach.

Wniosek końcowy

Rozprawa mgr inż. Krzysztofa Kalinowskiego „**Integracja jednostkowych procesów podstawowych występujących w instalacji desorpcji benzolu z oleju płuczkowego**” spełnia w pełni warunki i wymagania określone dla prac doktorskich w art. 13.1 ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku. Wnoszę więc o dopuszczenie jej do publicznej obrony. Wnioskuje również o uznanie rozprawy doktorskiej za wyróżniającą. Praca prezentuje znaczący postęp jaki dokonał się w ostatnich kilkunastu latach w koksownictwie w zakresie technologii desorpcji benzolu z oleju płuczkowego. Nowatorskie rozwiązania opracowane przy wiodącym udziale Doktoranta, udokumentowane patentami i wdrożeniami w kilku krajowych koksowniach, stanowią poważne osiągnięcie i wytyczają kierunki dalszego rozwoju technologii.

