

Usprawnienie działania mieszadeł samozasysających w aparatach typu objętościowego

Vsevolod SKLABINSKY*, Vitaly STOROZHENKO, Sergey SHABRATSKY – Sumski Uniwersytet Państwowy

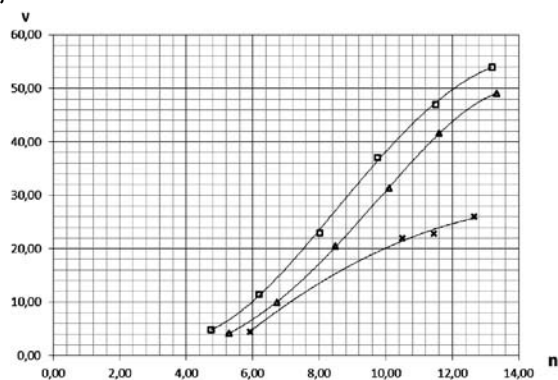
Prosimy cytować jako: CHEMIK 2015, 69, 6, 335–341

Wprowadzenie

W celu prowadzenia procesów wymiany masy w układzie gaz-ciecz, w przemyśle chemicznym stosuje się aparaty o dużej objętości z mechanicznymi urządzeniami mieszającymi. Doprowadzenie reagenta gazowego do strefy reakcji odbywa się za pomocą barboterów różnej konstrukcji. Możliwe jest to wtedy, gdy w rurociągu utrzymywane jest nadciśnienie przewyższające ciśnienie słupa cieczy w aparacie. Konieczność utrzymania nadciśnienia gazu w rurociągach doprowadzających i w barboterze w niektórych procesach technologicznych (sulfonowanie, ozonowanie, chlorowanie) komplikuje schemat technologiczny i warunki pracy instalacji. W procesie produkcyjnym konieczne jest stałe utrzymywanie nadciśnienia, nawet w przypadku przerwania procesu technologicznego; jeśli bowiem dopływ reagentów gazowych zostanie zatrzymany albo zmniejszony, to reagent ciekły może dostać się do wnętrza barbotera i może tam zajść reakcja. Prowadzi to do gromadzenia się produktów reakcji na powierzchni wewnętrznej i zatykania otworów w barboterze [1, 2]. Bardziej efektywnymi do takich procesów są reaktory z mieszadłami samozasysającymi [3 ÷ 8]. Nie mają one wspomnianych wyżej wad, ponieważ stanowią ruchome barbotery zdolne do samooczyszczania. Reagent gazowy w takich urządzeniach dopływa wskutek działania podciśnienia, wytwarzanego przez obroty i przepływ cieczy mieszanej łopatkami mieszadła.

Mieszadła samozasysające stanowią pod względem konstrukcyjnym wirniki w postaci odwróconego kubka. W ich powierzchni są otwory łączące wnętrze wirnika z łopatkami. Wyniki badań modelu laboratoryjnego takiego aparatu z mieszadłem samozasysającym przedstawiono w postaci graficznej (Rys. 1).

Ze wspomnianych wyżej danych wynika, że wzrost wydajności po stronie gazowej zależy od głębokości zanurzenia, średnicy i prędkości obrotowej mieszadła. W aparatach przemysłowych nie zawsze jest możliwa zmiana tych parametrów mieszadła. Ruch powietrza lub reagenta gazowego wewnątrz mieszadła w strefie przejściowej, od wirnika do wnętrza łopatek, można przyrównać do wypływu ze zbiornika przez króciec. Hydrodynamika wypływu cieczy lub gazu przez otwory lub króćce została dokładnie zbadana i opisana w literaturze [9 ÷ 11]. Jednak doniesień na ten temat, dotyczących mieszadeł samozasysających, jest niewiele.



□ – h=0,07 m; Δ – h=0,1 m; x – h=0,16 m;

Rys. 1. Zależność wydajności mieszadeł samozasysających od ich prędkości przy różnych głębokościach zanurzenia

Autor do korespondencji:
 Profesor, dr.inż Vsevolod SKLABINSKY,

Część doświadczalna

Przeprowadzono badania zmierzające do zwiększenia wydajności mieszadeł samozasysających poprzez zmianę współczynnika wypływu. W tym celu zbudowano urządzenia reprezentujące wirnik mieszadła samozasysającego, z otworem szczelinowym i wymiennymi dyszami, podobnymi do wydrążonych łopatek. Urządzenia te umożliwiły określenie współczynników oporu wypływu cieczy z części cylindrycznej wirnika mieszadła przez otwór szczelinowy. Parametry modeli wirników odpowiadały parametrom wirnika badanego mieszadła samozasysającego. Na części tworzącej model laboratoryjnych wirnika wycięto prostokątne otwory o stosunku długości boków 1:5.

Tablica I

The experimental and calculated data for determining the costs of vertical slotted holes

h, m	Q, l/s	Q, m ³ /s	V, m/s	μ	Re
Otwór szczeliny pionowej ma pionowe ścięcie (kąt skosu krawędzi szczeliny wejściowej to 60°) inne krawędzie są proste					
0,0015	0,02	0,00002	0,25	0	8000
0,015	0,032	0,000032	0,4	0,549577	12800
0,028	0,045	0,000045	0,5625	0,634955	18000
0,038	0,06	0,00006	0,75	0,680011	24000
0,045	0,073	0,000073	0,9125	0,679187	29200
0,0505	0,086	0,000086	1,075	0,662989	34400
0,058	0,1	0,0001	1,25	0,659683	40000
0,065	0,114	0,000114	1,425	0,660832	45600
0,068	0,128	0,000128	1,6	0,65622	51200
0,07	0,14	0,00014	1,75	0,652162	56000
Otwór szczeliny pionowej ma pionowe ścięcie (kąt skosu krawędzi szczeliny wejściowej to 45°) inne krawędzie są proste					
0,02	0,02	0,00002	0,25	0,3	8000
0,04	0,03	0,00003	0,4	0,5	12800
0,01	0,04	0,00004	0,562	0,7	18000
0,03	0,06	0,00006	0,75	0,8	24000
0,05	0,07	0,00007	0,912	0,9	29200
0,07	0,08	0,00008	1,075	0,9	34400
0,09	0,1	0,0001	1,25	0,9	40000
0,13	0,11	0,00011	1,425	0,9	45600
0,16	0,12	0,00012	1,6	0,9	51200
0,21	0,14	0,00014	1,75	0,9	56000

Rura cylindryczna urządzenia jest od góry zamknięta, a w tym zamknięciu jest rurka do podłączania piezometru. Wykonano dwa rodzaje tego urządzenia. Jeden ma postać przezroczystej rury z prostokątnym otworem szczelinowym o prostych krawędziach; w dru-

gim – krawędź po jednej stronie szczeliny jest prosta, a po drugiej zaokrąglona lub ukośna w stosunku do osi łopatkki. Badano hydrodynamikę stosując wodę jako medium przepływające. Ciecz doprowadzana była od dołu przez wylot umieszczony w osi łopatkki. Przekrój wylotu, przez który doprowadzana jest ciecz, dobrano tak, by był równy otworowi szczelinowemu lub wnęce króćca. W celu wyrównania przepływu w przekroju rury i wyeliminowania wpływu pulsacji cieczy na warunki wypływu, na dole urządzenia zamontowano płytę kondycjonującą wykonaną z cienkiego drutu. W przebiegu doświadczenia mierzono wypływ i ciśnienie piezometryczne zgodnie z zaleceniami opisanymi w [9, 10].

Badane urządzenia zamocowano na stanowisku do prób w położeniu dokładnie pionowym. Natężenie przepływu cieczy kontrolowano za pomocą rotametu PC-5, ciśnienie określano na podstawie odczytów z piezometru. Badano przypadki wypływu przez prostokątną szczelinę o prostych krawędziach oraz przez szczelinę o jednej pionowej krawędzi zaokrąglonej i ukosowanej pod kątem 60° i 45°. Wartości wypływu cieczy i ciśnienia piezometrycznego w części cylindrycznej modelu zestawiono w Tablicy. Uzyskane dane wykorzystano w dalszych obliczeniach współczynnika wypływu μ według wzoru (1):

$$\mu = \frac{Q}{S\sqrt{2gH}} \quad (1)$$

gdzie:

μ – współczynnik wypływu

Q – natężenie wypływu cieczy w instalacji doświadczalnej, m³/s

H – wysokość ciśnienia przepływu w rurce piezometrycznej, m

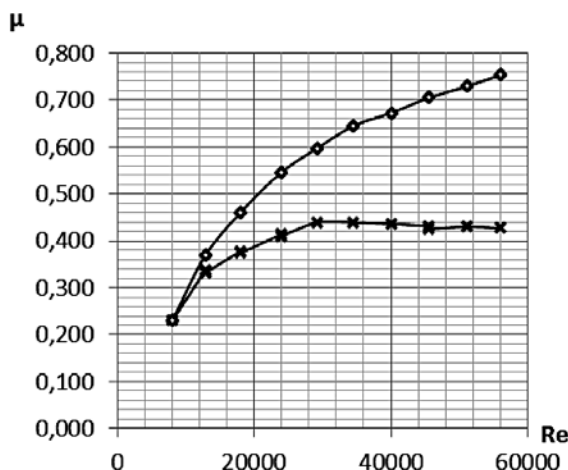
g – gęstość cieczy, kg/m³

S – powierzchnia przekroju szczeliny, m².

W trakcie badań stwierdzono, że współczynnik wypływu μ przez otwór szczelinowy i króciec zależy od liczby Reynoldsa, Re . Ponadto, im większa wartość Re , tym zależność ta słabnie, wartość μ staje się stała przy wartościach $Re \geq 50000$.

Wyniki i ich omówienie

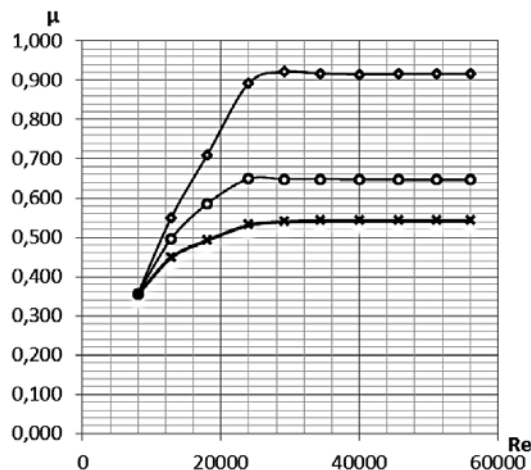
Wyniki przetwarzania danych doświadczalnych dla przypadków wypływu cieczy przez prostokątny otwór szczelinowy o prostych krawędziach i przez otwór z jedną pionową krawędzią zaokrągloną przedstawiono w postaci graficznej na Rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Zależność współczynnika wypływu przez otwór szczelinowy od wartości liczby kryterialnej Re . Krawędzie szczeliny: x – proste; ◊ – zaokrąglone

Jak widać z wykresu (Rys. 2), zaokrąglenie jednej pionowej krawędzi otworu szczelinowego znacznie podwyższa współczynnik wypływu, w porównaniu do urządzenia z otworem szczelinowym o krawędziach prostych. Z danych przedstawionych wyżej (Rys. 3) wynika,

że wartość współczynnika wypływu przez króciec prostokątny zależy od kąta pochylenia jednej pionowej krawędzi otworu szczelinowego, i zmiana kąta z 60° na 45° zwiększa współczynnik wypływu; wartość największa osiągnięta jest przy kącie pochylenia 45°.



Rys. 3. Zależność współczynnika wypływu przez króciec prostokątny od wartości liczby kryterialnej Re . Kąt ukosowania krawędzi wlotowej: x – 90°; o – 60°; ◊ – 45°

Matematyczne przetworzenie danych doświadczalnych umożliwiło wyznaczenie empirycznej zależności współczynnika wypływu od liczby Reynoldsa dla przypadku wypływu cieczy przez otwór o przekroju prostokątnym.

$$\mu = 0,5 + 0,957 \cos^2 \theta - 0,986 \cos \theta \quad (2)$$

Badania wykazały, że zmiana konfiguracji jednej pionowej krawędzi szczeliny skutkuje podwyższeniem współczynnika wypływu cieczy, a co za tym idzie zwiększeniem przepływu. To z kolei umożliwia zmianę konfiguracji kanałów mieszadła samozasysającego i zwiększenie jego wydajności w trybie samozasysania bez zwiększania jego średnicy, ani obrotów.

W trakcie obracania się mieszadła, ze względu na przepływ mieszanej cieczy wzdłuż łopatek, we wnętrzu wirnika i łopatek, następuje spadek ciśnienia (z dużego do podciśnienia), który dla stałego zwartego medium mieszanego, można obliczyć ze wzoru (3):

$$\Delta p = 0,5\pi^2 n^2 d^2 \rho \xi \quad (3)$$

gdzie:

n – prędkość obrotowa mieszadła, s⁻¹

d – średnica mieszadła, m

ρ – gęstość cieczy w reaktorze, kg/m³

ξ – współczynnik oporu mieszadła.

Obniżone ciśnienie wewnątrz łopatek wirnika i mieszadła powoduje zasysanie i dyspergowanie zmieszanego powietrza w objętości cieczy, gdy przekracza ono ciśnienie hydrostatyczne słupa cieczy nad mieszadłem i opór przepływu w środku mieszadła

$$\Delta p \geq \Delta p_{rc} + \Delta p_1 \quad (4)$$

gdzie:

$\Delta p_{rc} = \rho g H$, H – wysokość słupa cieczy nad mieszadłem w aparacie

Δp_1 – miejscowy opór wewnątrz mieszadła samozasysającego, określony przez wzór $\Delta p_1 = \zeta \frac{v^2}{2g}$. : w ostatnim wzorze ξ , to współczynnik wydatku otworu, przez który przepływa ciecz z wnętrza do wydrążonych łopatek mieszadła samozasysającego.

Ilość reagenta gazowego zasysanego przez mieszadło samozasysające określa wzór [10, 11]:

$$Q = \mu S \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (5)$$

gdzie:

μ – współczynnik wypływu dla danego rodzaju mieszadła

S – powierzchnia przekroju kanałów wydrążonych w łopatkach mieszadła, m²

ρ – gęstość mieszanego medium, kg/m³.

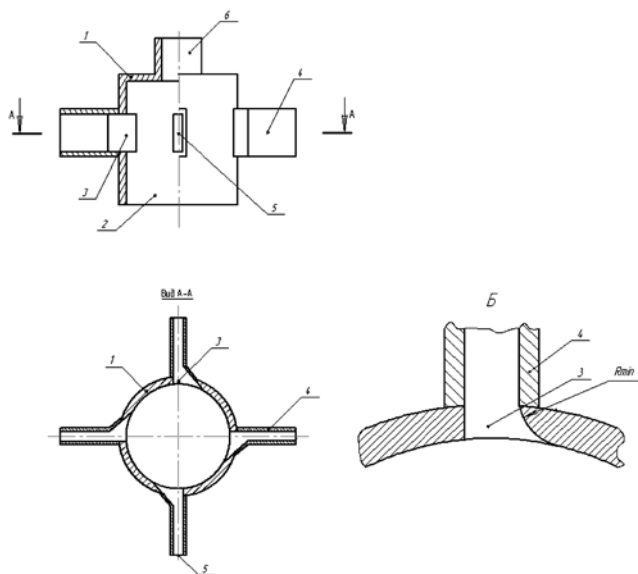
Uwzględniając równanie (3), wydajność mieszadła samozasysającego w fazie gazowej w układzie zasysania można wyznaczyć:

$$Q = \mu S \sqrt{\pi^2 n^2 d^2 \xi} \quad (6)$$

Znaczenie praktyczne badań

Porównanie wyników badań laboratoryjnych skłoniło do opracowania wydajniejszych mieszadeł samozasysających, które opatentowano na Ukrainie [12, 13].

Urządzenie do mieszania płynów [12] (Rys. 4) składa się z cylindrycznego wirnika 1 z kanałem 2 w osi; na powierzchni wirnika są szczeliny 3 z zamocowanymi promieniowymi wydrążonymi łopatkami 4; wylot 5 na przedniej powierzchni kanału wlotowego łopatki leży w płaszczyźnie nachylonej pod kątem 40-55° do osi łopatki i ma kształt zaokrąglony o promieniu równym 0,5-1,0 szerokości wnętrza łopatki.

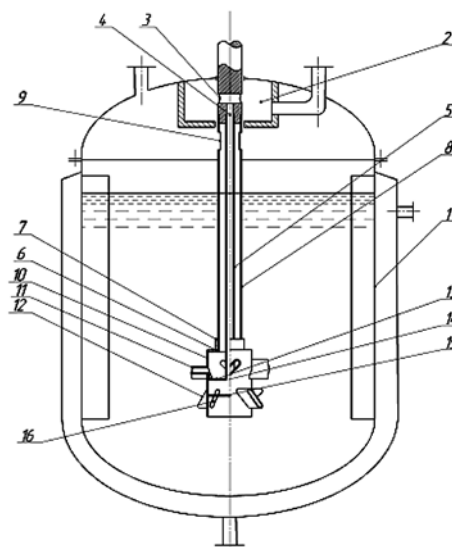


Rys. 4. Urządzenie do mieszania płynów

Łopatki z takimi kanałami wlotowymi mogą podwyższyć wydajność mieszadła samozasysającego o 15-20% bez konieczności zmiany parametrów geometrycznych ani prędkości obrotowej mieszadła.

Urządzenie do reakcji w układzie gaz-ciecz [13] przeznaczone do chlorowania niereaktywnych węglowodorów. Zamontowane jest w aparacie typu objętościowego (Rys. 5). W wydrążonym wirniku 10 umocowano w odstępach stałe wydrążone łopatki mieszadła w dwóch rzędach (górnym 11 i dolnym 12) pod różnym kątem w stosunku do osi wirnika. Podczas obracania się mieszadła reagent (chlor) doprowadzany jest przez samozasysanie przez komorę dozowniczą 2, rurę centralną 4 do przestrzeni między przegrodą 13 a przegrodą wyrzucającą 15. Przegroda wyrzucająca 15 dzieli wylot 16 dolnego rzędu wydrążonych łopatek 12 i umożliwia

zapoczątkowanie reakcji chlorowania bezpośrednio we wnętrzu łopatek dolnego rzędu. Następnie mieszanina gazowo-cieczowa jest dyspergowana w mieszanej masie. Dzięki rozcieńczeniu, jakie następuje podczas obracania się mieszadła, nieprzereagowany chlor przedostaje się otworami 9 w wale do góry urządzenia do reakcji w układzie gaz-ciecz i jest dodatkowo dyspergowany w przestrzeni reakcyjnej. Urządzenie pozwala uwzględnić recyrkulację reagenta gazowego i intensyfikację reakcji zwiększając stosunek gazu do objętości cieczy, przez co znacznie obniża się koszt reagenta gazowego, upraszcza się schemat technologiczny produkcji i zwiększa efektywność ekonomiczną.



Rys. 5. Urządzenie do reakcji w układzie gaz-ciecz

Urządzenia takie można stosować do mieszania w reakcjach sulfonowania alkilobenzenów gazowym dwutlenkiem siarki, ozonowania i utleniania metylobenzenu i chlorowania niereaktywnych węglowodorów.

Podsumowanie i wnioski

Porównanie wyników badań laboratoryjnych skłoniło do opracowania wydajniejszych mieszadeł samozasysających, które opatentowano na Ukrainie. Urządzenie pozwala uwzględnić recyrkulację reagenta gazowego i intensyfikację reakcji, zwiększając stosunek gazu do objętości cieczy, przez co znacznie obniża się koszt reagenta gazowego, upraszcza się schemat technologiczny produkcji i zwiększa efektywność ekonomiczną. Urządzenia takie można stosować do mieszania w reakcjach sulfonowania alkilobenzenów gazowym dwutlenkiem siarki, ozonowania i utleniania metylobenzenu i chlorowania niereaktywnych węglowodorów.

Literatura

1. Berkman B.: *Sulfonation and alkali melting in the organic synthesis industry*. 1960, 268.
2. Nevolin F.V.: *Chemistry and technology of synthetic detergents*. 1971, 424.
3. Strenk F.: *Mixing and devices with mixers*. Chemistry 1975, 384.
4. Vaseltsov E.A., Ushakov V.G.: *Devices for mixing of liquid areas*. Engineering 1979, 272.
5. Heim A., Krasawski A., Rzycki E., Stelmach J.: *The Chemical Engineering Journal and the Biochemical Engineering Journal*, Volume 58, Issue 1, June 1995, 59-63.
6. Bouaifi M., Roustan M.: *Power consumption, mixing time and homogenization energy in dual-impeller agitated gas-liquid reactors*. Chem Eng Process 2001, 40(2), 87-95.
7. Storogenko V.Y., Shabratsky V.I.: Patent ZSRR 771089 (1980).
8. Shabratsky V.I., Belkin D.I.: Patent ZSRR 1655548 (1991).

9. Siov B.N.: *Outflow of fluid through the nozzle into the medium with back pressure*. Engineering 1968, 140.
10. Idelchik I.E.: *Handbook of hydrodynamic resistance*. Engineering 1975, 559.
11. Davidov A.N., Lantsiv A.E.: *Flow coefficient of the suction holes at different Reynolds*. 2011, 2, 147-151.
12. Shabratsky V.I., Belkin D.I., Barvin V.I., Shabratsky S.V.: Patent ukraiński 60097 (2011).
13. Sklabinsky V.I., Storogenko V.Y., Shabratsky S.V.: Patent ukraiński 89755 (2014).

*Profesor, dr.inż Vsevolod SKLABINSKY – urodził się w 1951 roku. Zainteresowania badawcze – dynamika płynów i transfer masy w procesach wykorzystujących prądy wirowe, badania i wprowadzenie urządzeń wykorzystujących prądy wirowe. Jest autorem ponad 110 publikacji, w tym 50 artykułów w czasopismach naukowych, otrzymał 20 patentów na wynalazki i patentów. Napisał 15 materiałów edukacyjnych i dydaktycznych. Profesor Sklabinsky jest członkiem Specjalistycznej Rady Naukowej dla obrony dysertacji o specjalności 05.17.08. W lutym 2003 roku, profesor Sklabinsky został mianowany szefem departamentu procesów chemicznych i urządzeń oraz rafinerii SSU.

Profesor, dr.inż. Vitaly STOROZHENKO urodził się w 1939 roku. Równoległe z pracą nauczyciela prowadzi prace na tematy naukowe negocjowane państwowo. Zakres badań - badania, rozwój i realizację wysokowydajnego aparatu dla procesów chemiczno-technologicznych. Zaimplementował i wdrożył do produkcji homogenizator pasty do prania, ciekłego ściągacza w produkcji metali rzadkich, sulfurator w produkcji sulfazolu otrzymał trzy medale ZSRR, autor przedstawił znak wynalazcy ZSRR. Profesor Storozhenko jest autorem ponad 100 publikacji, w tym 26 publikacji naukowych i technicznych, posiada 35 certyfikatów autorskich na wynalazki. Opublikował dwie książki zalecanych przez Ministerstwo Edukacji Ukrainy jako podręczniki. Jego zalety można słusznie przypisać odkryciu wielu społeczności edukacyjnych i doradczych, przygotowujących specjalistów.

Mgr inż. Sergey SHABRATSKY urodził się w roku 1991. W roku 2013 ukończył studia w Instytucie Technologii Chemicznej na Volodymyr Dahl East Ukrainian National University i otrzymał dyplom w inżyniera badacza. Obecnie aktywnie działa w kwestii hydrodynamiki dotyczącej mieszadeł własno-ssących. Jest współautorem około 15 publikacji naukowych, w tym 3 artykułów w czasopismach naukowych i technicznych, 8 patentów na wzór użytkowy. Obecnie ukończył studia w dziedzinie procesów chemicznych i urządzeń oraz rafinerii SSU.

Aktualności z firm

News from the Companies

Dokończenie ze strony 334

BADANIA I ROZWÓJ

Nowe centrum technologiczne firmy Evonik

W niemieckim Krefeld firma Evonik otworzyła nowe centrum technologiczne, zajmujące się badaniami nad superchłonnymi polimerami. Nowy zakład, w budowę którego firma zainwestowała 1 mln EUR, wzmacnia pozycję Evonik na rynku polimerów superchłonných. Nowe laboratorium zostało zaprojektowane, tak aby zapewnić wysoką wydajność pracy. Powiększona przestrzeń laboratoryjna pozwala na prowadzenie prac naukowych z wykorzystaniem najnowszych metod badawczych. (kk)

(Komunikat prasowy Evonik, 27.04.2015)

KONKURSY, NAGRODY, WYRÓŻNIENIA

Polskie wynalazki z medalami targów wynalazczości „Concours Lépine”

Osiem złotych, dziewięć srebrnych i dziewięć brązowych zdobyli polscy naukowcy na 114. Międzynarodowych Targach Wynalazczości „Concours Lépine”. Podczas Targów zaprezentowano ponad 500 innowacyjnych rozwiązań, w tym 26 z Polski.

Złotym medalem oraz medalem francuskiego Ministerstwa ds. Europejskich wyróżniono wynalazek Instytutu Mechaniki Precyzyjnej – „Antybakteryjne powłoki kompozytowe z porowatego tlenku glinu ze srebrem na powierzchniach aluminiowych”. Przemysłowy Instytut Motoryzacji nagrodzono medalem złotym oraz medalem Ministerstwa Spraw Wewnętrznych Francji za „System zwiększający bezpieczeństwo dzieci przewożonych w pojazdach”.

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu wrócił z Targów z dwoma złotymi medalami – za „System wspomaganie rozwoju percepcyj-

no-poznawczego niemowląt i małych dzieci oraz detekcji zaburzeń tego rozwoju i ich leczenia” oraz za „Węgle aktywowane wytwarzane z chityny lub chitozanu, o wysokiej zawartości azotu i wysokim przewodnictwie elektrycznym, do wytwarzania elektrod nie zawierających metali szlachetnych lub ciężkich”.

Złotym medalem nagrodzono też projekt „Bateria ogniw paliwowych o czasie rozruchu skróconym do 1 godziny, w porównaniu do około 25 godzin dla ogniw aktualnie oferowanych”, prezentowany przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie. Spośród rozwiązań prezentowanych przez Politechnikę Gdańską najwyżej oceniono dwa: „Wydajny agregat pompowy o rewolucyjnej budowie, do użytku przemysłowego” oraz „Nowy biodegradowalny materiał do produkcji plastikowych pojemników, opakowań i narzędzi. Obydwa otrzymały złote medale. Wrocławski POLTEGOR prezentujący rozwiązanie pod nazwą „Ograniczenie pylenia i rekultywacja kamieniołomów”, również otrzymał złoty medal.

Medal srebrny jury przyznało między innymi za: „Otrzymywanie szczepów drożdży o lepszej przeżywalności dla winiarstwa, piwowarstwa, piekarnictwa i produkcji kosmetyków” oraz „Katalityczny układ do ekologicznego usuwania podtlenku azotu z gazów odlotowych instalacji przemysłowych”. Oba rozwiązania zostały opracowane na Uniwersytecie Jagiellońskim. Srebrem wyróżniono również „Termiczną metodę utylizacji odpadów niebezpiecznych, pozwalającą na wytworzenie kruszywa lekkiego, jako zamiennika naturalnej krzemionki”, prezentowaną przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Takie same krążki otrzymały też: Politechnika Gdańska, Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie, Instytut Biopolimerów i Włókien Chemicznych w Łodzi, Politechnika Łódzka, Instytut Włókiennictwa w Łodzi. (kk)

(<http://naukawpolsce.pap.pl>, 12.05.2015)

Dokończenie na stronie 345