

центровка промышленного оборудования. – К., 1979. 16. А. с. 399705 СССР. Устройство для определения положения корпуса вращающейся печи в процессе ее работы / Ю.Н.Микольский, Ю.С.Ханжонков, И.В.Кузьо и др. // Бюл. изобрет. – 1973. – № 39. 17. А. с. 408140 СССР. Устройство для определения отклонения форм отверстий изделий / Ю.Н.Микольский, В.М.Кравченко, И.В.Кузьо и др. // Бюл. изобрет. – 1974. – № 47. 18. А. с. 508668 СССР. Способ определения положения и формы оси вращения крупногабаритной деформирующейся оболочки / Ю.Н.Микольский, Т.Г.Шевченко, И.В.Кузьо и др. // Бюл. изобрет. – 1976. – № 12. 19. Микитин М.П. Некоторые вопросы расчета машин барабанного типа // Тр. Московского ин-та химического машиностроения. – 1959. – Т. 19. 20. Несвижский О.А., Дешко Ю.И. Справочник механика цементного завода. – М., 1977. 21. А. с. 1296810 СССР. Способ диагностирования вращающейся печи / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, Ю.Н.Микольский и др. // Открытия. Изобрет. – 1987. – № 10. 22. А. с. 1537998 СССР. Устройство для ремонта опорного ролика вращающейся печи / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, Ф.С.Логачев // Открытия. Изобрет. – 1990. – № 3. 23. А. с. 1518638 СССР. Устройство для технической диагностики вращающейся печи / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, Т.Г.Шевченко и др. // Открытия. Изобрет. – 1989. – № 40. 24. А. с. 1742643 СССР. Устройство для измерения температуры вращающихся объектов / В.А.Пашистый, П.И.Ванкевич, И.В.Кузьо и др. // Открытия. Изобрет. – 1992. – № 45. 25. Положение о планово-предупредительном ремонте оборудования предприятий промышленности строительных материалов. Цементные заводы. – М., 1968. 26. Руководство по геодезическому обеспечению монтажа и эксплуатации технического оборудования цементной промышленности. ГКИНП-10-135-80. – М., 1983. 27. Фаермарк С.Е., Галкина Н.П. Инструментальная выверка и регулировка вращающихся печей // Сб. по обмену опытом в цементной промышленности. – 1965. – № 9. 28. А. с. 1280306 СССР. Устройство для определения геометрического центра сечения корпуса вращающейся печи / Т.Г.Шевченко, С.Г.Хропот, И.В.Кузьо // Открытия. Изобрет. – 1986. – № 48. 29. А. с. 1418555 СССР. Способ диагностирования корпуса вращающейся печи / Т.Г.Шевченко, И.В.Кузьо, В.А.Пашистый и др. // Открытия. Изобрет. – 1988. – № 31.

УДК 666.940.41

І.В. Кузьо, А.В. Зубрицький

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної механіки

КОНТРОЛЬ І ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ І НАВАНТАЖЕНЬ НА ОПОРІ ОБЕРТОВИХ АГРЕГАТІВ

© Кузьо І.В., Зубрицький А.В., 2001

Наведені результати експериментальних вимірювань деформацій та навантажень на опори обертових агрегатів, які є підтвердженням того, що при розрахунку на міцність їх треба вважати пружними.

The result of experimental measuring of the stresses and deformations of the supports of rotating equipment are presented. Given results justify that the calculations of strength of the constructions must be realized in assumption of elasticity of named deformations.

Надійність роботи обертових агрегатів значною мірою залежить від надійності роботи опорних вузлів, що відбувається в досить складних умовах.

При розрахунках на міцність обертових агрегатів їх опори, як правило, приймаються абсолютно жорсткими конструкціями [1–11]. Насправді пружні деформації деталей опор можуть досягати значень, які співрозмірні з допуском на відхилення осі обертання корпусу обертового агрегату від прямолінійності. Податливість опор (величина, обернена до коефіцієнта жорсткості) істотно впливає на перерозподіл навантажень на опори і на дійсне положення осі обертання, а, отже, й на міцність і надійність агрегату в цілому. Ці припущення підтверджують теоретичні дослідження [12–14], якими встановлено, що для якісного кількісного аналізу пружно-деформованого стану корпусів обертових агрегатів необхідно з'ясувати насамперед співвідношення коефіцієнтів жорсткості чи податливості окремих елементів опори та визначити коефіцієнт її жорсткості в цілому. Тому навантаження на опори, які знаходяться у прямій залежності від коефіцієнтів їх жорсткості, є одним з основних параметрів технічного стану обертових агрегатів [7]. Існуючі методи контролю цього параметра можна поділити на прямі і непрямі (побічні) [8, 15–19].

Прямі методи дають можливість визначення безпосередньо зусилля, що діє на опору. Непрямі методи передбачають вимірювання інших параметрів, за допомогою яких визначають самі навантаження.

Прямі методи більш точні порівняно з непрямыми, але їх використання пов'язане з великими ускладненнями, зумовленими відсутністю надійних та простих давачів зусиль, що працювали б в екстремальних умовах. Крім того, існуючі конструкції опор мають надто низьку контролездатність, що, в свою чергу, обмежує можливість монтування давачів навантаження без значних їх конструктивних змін.

З практики експлуатації обертових агрегатів та аналізу наведеної вище літератури дослідженню даного параметра не приділено належної уваги. З цією метою розроблено конструкцію роликоопори з вмонтованими у фундаментну раму гідродомкратами [20], які дозволяють піднімати роликоопору на висоту 0,01...0,1 мм. Це забезпечує передачу зусилля на гідродомкрати і не викликає практичного перерозподілу навантажень на інших опорах. Цей, на перший погляд, простий метод вимагає складних конструктивних змін, а тому не придатний для широкого застосування.

Поряд з тим, враховуючи результати досліджень жорсткості елементів опорних вузлів, створено низку непрямих методів і засобів для визначення навантажень на опору за пружними деформаціями її окремих елементів [21–30].

На обертовій печі № 8, розміром 5×185 м, Миколаївського цементно-гірничого комбінату проведено експериментальну перевірку розроблених методів.

Як відомо, корпуси підшипників у роликоопорі сприймають усі навантаження від опорного ролика і передають їх фундаментній рамі. Тому, під час роботи обертової печі вимірювались деформації корпусу підшипників від зміни навантаження. З цією метою за методикою [25] до фундаментної рами було прикріплено три індикатори типу МИГ-1 з точністю 1 мкм, які вимірювали деформацію корпусу підшипника відповідно в осьовому, поперечному та вертикальному напрямках.

Вертикальної деформації корпусів не спостерігалось. Осьова деформація при вимкненій гідроопорі від змінного навантаження становила 12...20 мкм.

Поперечна пружна деформація корпусів була в межах 8...18 мкм, що становило 120...250 кН.

Зміна навантаження за один оберт агрегату зумовлена непрямолінійністю геометричної осі.

При визначенні коефіцієнта поперечної жорсткості корпусу за згаданою методикою для створення протидії використано гідродомкрат ДГ-100-2 і гідростанцію НСР-400М-12. Тиск оливи в гідросистемі контролювався точним манометром.

У таблиці наведено значення коефіцієнтів жорсткості корпусів підшипників опори № 1.

Коефіцієнт поперечної жорсткості C (кН/м \cdot 10 3)

Номер експерименту	Корпус підшипника			
	Верхній правий	Верхній лівий	Нижній правий	Нижній лівий
1	2,0	1,7	1,54	1,01
2	1,97	1,65	1,3	0,97
3	1,95	1,75	1,35	1,52
середнє значення	1,97	1,7	1,4	1,17

Аналіз експериментальних досліджень дав можливість встановити, що коефіцієнти жорсткості корпусів підшипників на опорах даного типорозміру відрізняються між собою на більше ніж 50 %, а при повторних вимірюваннях результати відрізнялись на 15 %.

На рис. 1–4 графічно зображено результати експериментальних досліджень поперечної жорсткості наведено у таблиці корпусів підшипників. На рисунках прийнято позначення: p – тиск рідини в гідродомкраті; δ – поперечна деформація корпусу; Q – зусилля на корпус підшипника; C – коефіцієнт поперечної жорсткості.

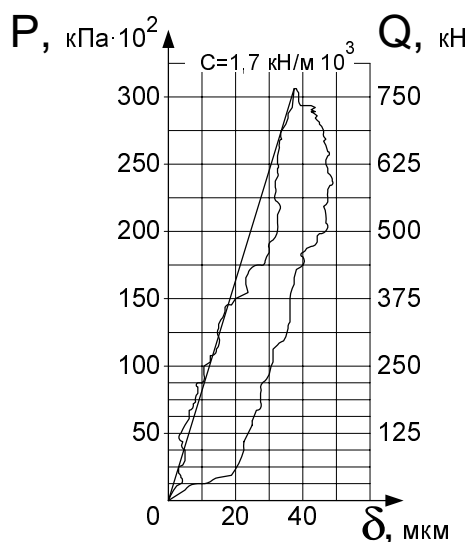


Рис. 1. Опора № 1. Поперечна жорсткість верхнього правого корпусу

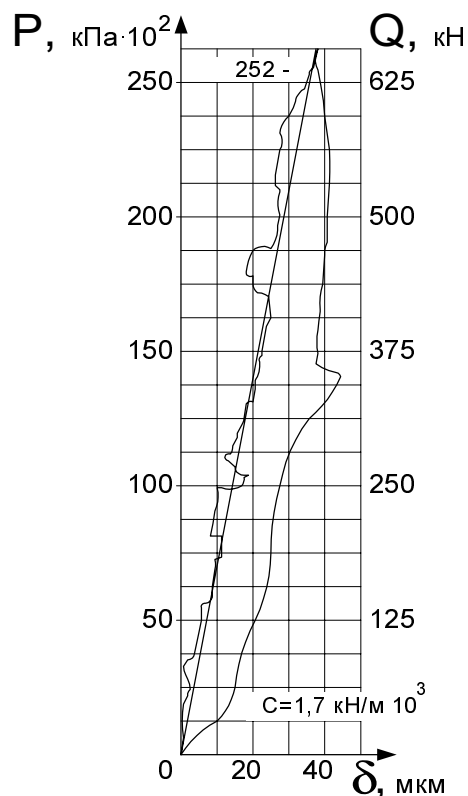


Рис. 2. Опора № 1. Поперечна жорсткість верхнього лівого корпусу

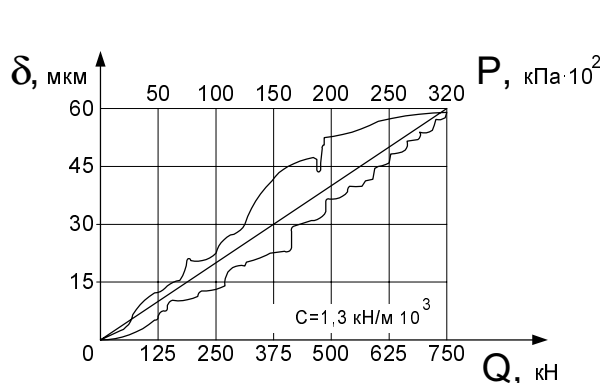


Рис. 3. Опора № 1. Поперечна жорсткість нижнього правого корпусу

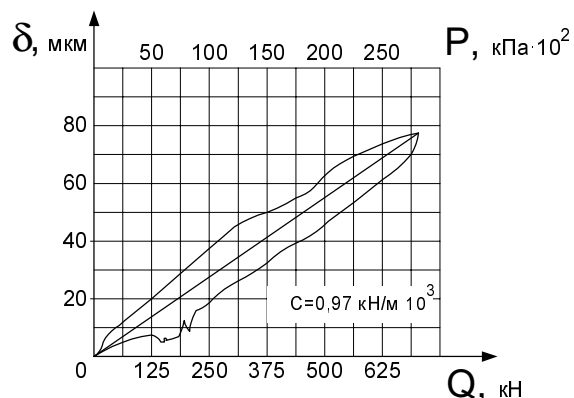


Рис. 4. Опора № 1. Поперечна жорсткість нижнього лівого корпусу

Площа петлі гістерезису, отримана при підвищенні і зменшенні тиску p в гідросистемі, зумовлена внутрішнім тертям у матеріалі корпусу.

Для визначення коефіцієнта жорсткості осі опорного ролика використовувався метод, суть якого пояснює рис. 5.

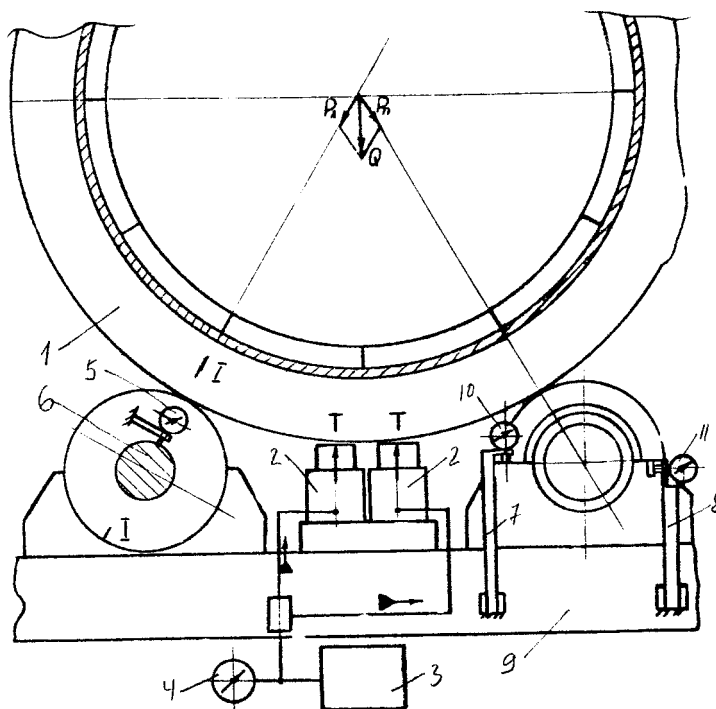


Рис. 5. Вимірювання коефіцієнта жорсткості осі опорного ролика

Під бандажем 1 встановлювались два гідродомкрати 2 ДГ-200-2 вантажопідйомністю $Q = 2$ мН, які з'єднувались з гідростанцією 3 НСР-400М з манометром 4. До торцевих поверхонь ролика прикріплювались індикатори 5, які контактували з півосями 6 в площині I – I спирання бандажу на ролик. На спеціальних стояках 7 і 8, приварених до фундаментної рами 9, закріплювались індикатори 10 і 11, які впирались відповідно у верхню та бокову поверхні корпусу підшипників. Поступово, збільшуючи тиск рідини в гідродомкратах, розвантажували елементи роликоопори. При цьому фіксували значення тиску і деформації елементів конструкції.

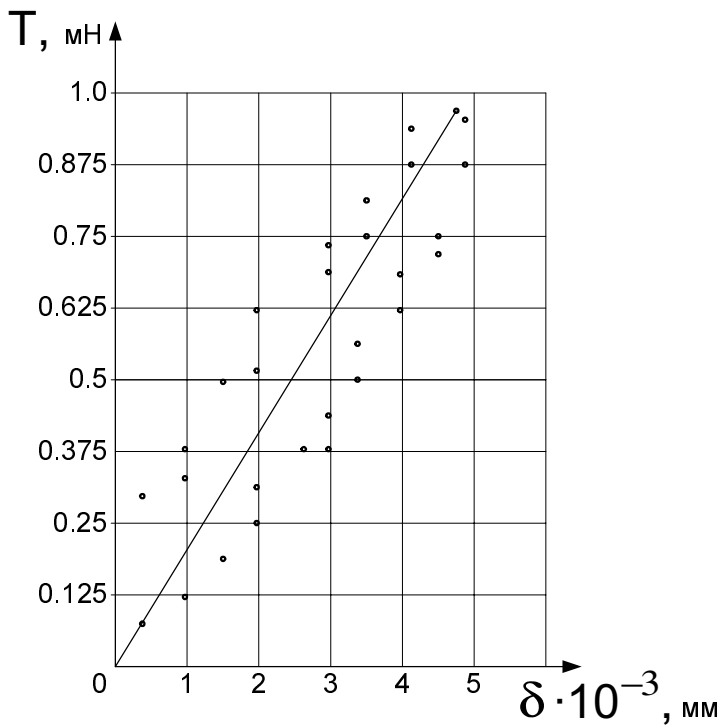


Рис. 6. Графік залежності деформації корпусу підшипників від навантаження

спостерігалось до створення тиску в домкратах 22...24 мПа, що відповідало зусиллю $2T = 2,3$ мН.

При подальшому збільшенні тиску відбувалась стрімка деформація осі до 92 мкм, після чого спостерігалась лінійна залежність (рис. 7).

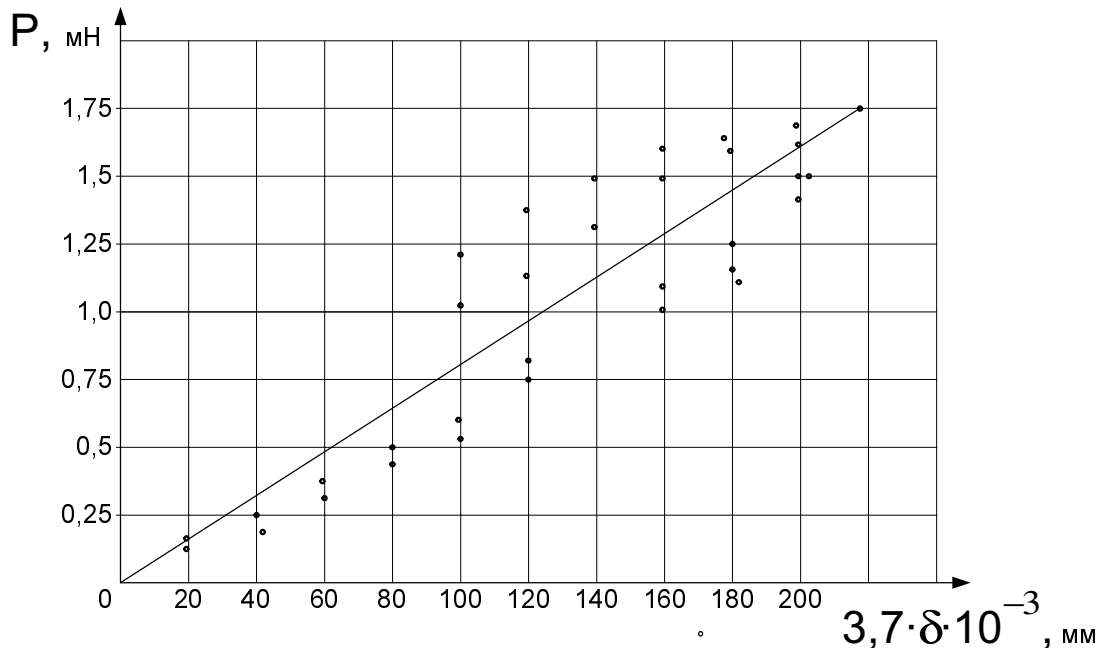


Рис. 7. Графік залежності деформації осі ролика від навантаження

Середнє значення коефіцієнта жорсткості осі опорного ролика відповідає $C_0 = 2,07 \cdot 10^{10}$ Н/м.

При збільшенні зусиль T елементи роликоопори розвантажувались, а індикатором 10 можна було зафіксувати пружну деформацію корпусу підшипників у вертикальній площині при досягненні тиску в гідродомкратах 10 мПа, що відповідало $2T = 1$ мН. Відповідно, зусилля на один корпус підшипника становило $T_1 = 2T/4 = 0,25$ мН. При подальшому збільшенні тиску в гідродомкратах деформації корпусів підшипників відповідають залежності, що зображена на рис. 6. Середнє значення коефіцієнта жорсткості корпусу підшипників при цьому буде становити $C_K = 1,8 \cdot 10^{11}$ Н/м. Одночасно з дослідженням корпусів підшипників вимірювалась і жорсткість осі опорного ролика.

Деформації осі ролика, яка фіксувалась індикатором 5, не

Аналіз попередніх теоретичних досліджень [13, 14] і проведених експериментальних вимірювань дає можливість стверджувати, що елементи опорних вузлів обертових агрегатів зазнають при експлуатації значних пружних деформацій. Тому при розрахунку таких агрегатів їх опори треба вважати пружними. Це істотно впливає на саму методику розрахунку. А при контрольно-вимірювальних роботах треба врахувати самі деформації окремих елементів опор.

1. Бакин Ф.Г., Несвижский О.А. *Механическое оборудование цементных заводов*. – М., 1975. – 318 с. 2. Бауман В.А., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. *Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций*. – М., 1981. – 324 с. 3. Боганов А.И. *Вращающиеся печи цементной промышленности*. – М., 1965. 4. Гусев Ю.И., Карасев И.Н., Кольман-Иванов Э.Э. и др. *Конструирование и расчёт машин химических производств*. – М., 1985. 5. Кантрович З.Б. *Основы расчёта химических машин и агрегатов*. – М., 1960. 6. Кузьо И.В., Микольский Ю.Н., Шевченко Т.Г., *Современные методы контроля установки оборудования*. – Львов, 1982. – 143 с. 7. Кузьо И.В., Шевченко Т.Г. *Расчёт и контроль установки агрегатов непрерывного производства*. – Львов, 1987. – 176 с. 8. Микольский Ю.Н., Кравченко В.М. *Выверка и центровка промышленного оборудования*. – К., 1979. 9. Силенок С.Г., Гризак Ю.С., Лямин В.Н. и др. *Печные агрегаты цементной промышленности*. – М., 1984. – 166 с. 10. Федоров Г.Ф., Иванов А.Н., Савченко А.Г. *Механическое оборудование предприятий вяжущих и изделий из них*. – Харьков, 1986. 11. Щербаков Ф.К. *К определению реакций опор вращающихся печей* // Тр. ВНИИЦЕММаши. – Тольятти, 1973. – Вып. 16. – С. 18–21. 12. Кузьо И.В., Пономаренко А.Н. *Определение жесткости опорного узла вращающихся печей* // Вестн. Львов. политехн. ин-та. – 1988. – № 220. – С. 59–61. 13. Зубрицький А.В., Кузьо І.В. *Вибір оптимального положення осі обертання агрегатів неперервної дії* // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – 2000. – № 396. – С. 77–80. 14. Кузьо І.В., Зубрицький А.В. *Вплив коефіцієнтів жорсткості на навантаження та деформації опор великогабаритних обертових агрегатів* // *Машинознавство*. – 1997. – № 2. – С. 42–46. 15. Гулида И.И. *Влияние неточного расположения опор многопролетных вращающихся печей* // Изв. вузов. *Машиностроение*. – 1972. – № 10. 16. Гулида И.И. *Влияние неконцентричности посадки бандажей вращающихся печей на величину усилия на опорные ролики* // *Строительные и дорожные машины*. – 1975. – №11. 17. Лейченко И.Л., Рояк А.Д. *Измерение поперечных деформаций корпусов вращающихся печей* // *Цемент*. – 1959. – № 6. 18. Несвижский О.А., Дешко Ю.И. *Справочник механика цементного завода*. – М., 1977. 19. Федоров Г.Ф., Вишневицкий Г.В., Савченко А.Г. и др. *Измерение опорных нагрузок вращающихся печей* // *Цемент*. – 1980. – № 1. 20. А. с. 1345037 СССР. *Устройство для определения нагрузок на опоры* / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, Ю.Н.Микольский и др. // *Открытия Изобрет.* – 1987. – № 38. 21. Кузьо И.В., Пашистый В.А., Ванкевич П.И., Максимчук Ю.Ю. *Измерение деформаций и напряжений в деталях опорного узла вращающейся печи* // Тез. Докл. к Всесоюз. конф. Ч. 7. *Технология машиностроения и материаловедения*. – Белгород, 1989. 22. А. с. 1612194 СССР. *Способ определения нагрузок на опорный ролик вращающейся печи* / И.В.Кузьо, В.А.Пашистый, И.П.Юзькив // *Открытия. Изобрет.* – 1990. – № 45. 23. А. с. 1659692 СССР. *Устройство для определения нагрузок на опорные ролики вращающейся печи* / И.В.Кузьо, В.А.Пашистый, М.А.Романуха и др. // *Открытия. Изобрет.* – 1991. – № 24. 24. А. с. 1719843 СССР. *Устройство для определения нагрузок на опоры вращающейся печи* / И.В.Кузьо, В.А.Пашистый, В.А.Понимаиш // *Открытия. Изобрет.* – 1992. – № 10. 25. А. с. 1377553 СССР. *Устройство для определения нагрузок на опоры вращающейся печи* / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, Я.А.Зинько // *Открытия. Изобрет.* – 1988. – № 8. 26. А. с. 1534265 СССР. *Способ определения нагрузок на опорный ролик вращающейся печи* / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, П.И.Ванкевич // *Открытия. Изобрет.* – 1990. – № 1. 27. А. с. 1587308 СССР. *Устройство для определения нагрузок на опоры вращающейся печи* / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, Н.И.Грибок и др. // *Открытия. Изобрет.* – 1990. – № 31. 28. А. с. 1719844 СССР. *Устройство для записи деформаций оси ролика вращающейся печи* / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, Ю.В.Сасин // *Открытия. Изобрет.* – 1992. – № 10. 29. А. с. 1719845 СССР. *Устройство для определения нагрузок на опорные ролики вращающейся печи* / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, М.А.Колянковский // *Открытия. Изобрет.* – 1992. – № 10. 30. А. с. 1719846 СССР. *Устройство для контроля нагрузок на роликоопоре вращающейся печи* / В.А.Пашистый, И.В.Кузьо, В.С.Платонов // *Открытия. Изобрет.* – 1992. – № 10.