

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.362

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-213-7-97-102

Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов,
С.С. Щербakov, М.Е. Микитюк
N.I. Strikunov, S.V. Lekanov,
S.S. Shcherbakov, M.E. Mikityuk

ПАРАМЕТРЫ РАЗГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ЦЕНТРОБЕЖНО-ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА

PARAMETERS OF DISCHARGING DEVICES OF CENTRIFUGAL AIR SEPARATOR

Ключевые слова: кольцевой пневмосепарирующий канал, скорость воздушного потока, расход воздуха, циклон, легкие примеси, зерновой материал, конический разбрасыватель.

Параметры центробежно-воздушного сепаратора и разгрузочные устройства указывают на реальную возможность его использования как отдельную машину с возможностью установки в технологических линиях послеуборочной обработки зерна. Если такой пневмосепарирующий канал будет работать в сочетании с решетчатыми центробежными блоками (возможно, и плоскими решетками), технологические возможности таких машин расширятся. Проведенные нами исследования подтверждены несколькими патентами РФ на изобретения. Зарубежными учеными также подтверждены исследования в этом направлении, что доказывает его перспективность. В настоящее время кольцевые пневмосепарирующие каналы широко применяются в виброцентробежных сепараторах и в зарубежных конструкциях центробежных зерноочистительных машин. Разработанный центробежно-воздушный сепаратор для очистки зерна может найти применение в современных технологических линиях мехтоков. Приведенные расчеты основных параметров применяемых разгрузочных устройств позволяют оценить их конструктивные и энергетические характеристики. Использовать полученные расчетные параметры центробежно-воздушного сепаратора и разгрузочных устройств можно при проектировании и практическом создании машины. Отметим, что номенклатура выпускаемых отечественной промышленностью зерноочистительных машин расширилась, но потребность на перспективные разработки остаётся актуальной. Учитывая, что зарубежные зерноочистительные машины дорогостоящие, отечественным производителям можно наладить про-

изводство перспективных машин для послеуборочной обработки зерна таким образом, чтобы они были конкурентноспособными.

Keywords: annular pneumatic separating channel, air flow rate, air consumption, cyclone, light impurities, grain material, conical spreader.

The parameters of the centrifugal air separator and discharging devices show the real possibility of its use as a separate machine with the possibility of installation in technological lines for post-harvest grain handling. When such a pneumoseparating channel works in combination with sieve centrifugal blocks (and possibly flat sieves), the technological capabilities of such machines are expanded. Our research is confirmed by several patents of the Russian Federation for inventions. There are foreign developments in this area, and that confirmed its perspective. Currently, annular pneumoseparating channels are widely used in vibrocentrifugal separators and in foreign designs of centrifugal grain cleaning machines. The developed centrifugal air separator for grain cleaning may be used in modern technological lines of mechanized threshing floors. The presented calculations of the main parameters of the used discharging devices allow evaluating their design and energy characteristics. The obtained design parameters of the centrifugal air separator and discharging devices may be used in the design and practical creation of a machine. It should be noted that the range of grain cleaning machines manufactured by the domestic industry has expanded, but the need for advanced developments remains relevant. Considering that foreign grain cleaning machines are expensive, domestic manufacturers may start producing promising machines for post-harvest grain handling in such a way that they are competitive.

Стрикунов Николай Иванович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: strikunov555@mail.ru.

Леканов Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: serrg333@mail.ru.

Щербаков Сергей Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: serch1995.ru@mail.ru.

Микитюк Максим Евгеньевич, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: rb25neo@mail.ru.

Strikunov Nikolay Ivanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: strikunov555@mail.ru.

Lekanov Sergey Valerevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Barnaul, Russian Federation, e-mail: serrg333@mail.ru.

Shcherbakov Sergey Sergeevich, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: serch1995.ru@mail.ru.

Mikityuk Maksim Evgenevich, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: rb25neo@mail.ru.

Введение

В современных машинах для разделения зернового материала используются различия компонентов зернового вороха в основном по парусности и их размерам.

Исследования показывают, что на современном этапе наиболее эффективным является сепаратор с кольцевым пневмосепарирующим каналом [1, 2], расположенным вертикально. В таком рабочем органе обеспечивается тонкослойная подача зернового материала в зону сепарации, повышенная скорость воздушного потока и встречное движение обрабатываемого материала и воздуха. Наиболее эффективно зерновая смесь очищается при двойном пересечении воздуха и слоя зернового материала, как это происходит в машинах МПО-50 и Verticlean [3, 4]. В чистом виде в этих машинах нет встречного движения воздуха и зерна, в отличие от известных сепараторов. В этих сепараторах воздушный поток один раз продувает поступающий в зону сепарации зерновой слой. Если же объединить два этих качества – двойное пересечение воздушного потока и зернового материала и встречное их движение, то можно создать весьма эффективный и высокопроизводительный сепаратор, способный работать на очистке зерна различных культур. Сепаратор простой по устройству, а его универсальность в эксплуатации достигается регулированием подачи зернового вороха и подачи воздуха. Эффективность выделения легких примесей обеспечивается встречным движением воздуха и зерна и двойным их пересечением. Конструктивное исполнение сепаратора несложное.

Основная часть

Предлагаемый центробежно-воздушный сепаратор [5] может работать как самостоятельная

машина, так и совместно с решетными блоками центробежно-решетного сепаратора. Наиболее простой вариант использования сепаратора – отдельная самостоятельная машина в технологических линиях современных мехтоков.

В состав сепаратора входит цилиндрический корпус 1, имеющий всасывающие окна 10, оснащён также патрубками вывода лёгких примесей 3 с регулировочной заслонкой и выхода очищенного зерна 8. Привод разбрасывателя 11 и скребков осуществляется мотор-редуктором.

В верхней части осадочной камеры 4 установлен вентилятор 5, а в нижней её части устроен выпускной патрубок 6 с клапаном. Осадочная камера 4 соединяется с цилиндрическим корпусом 1 посредством фланца.

Кольцевой пневмосепарирующий канал (не показан), имеющий конический отражатель, установлен внутри цилиндрического корпуса. Загрузочная горловина 2 осуществляет подачу зерна на разбрасыватель 11. Вспомогательный конус осуществляет сбор очищенного зерна, откуда скребками зерно направляется в выгрузной патрубок 8. Чаша 16 разбрасывателя имеет плавно отогнутые кромки наружу в конической её части, а также имеет направляющий конус 12 и плоские разгонные лопатки 13 и 14. Длинные лопатки 14 имеют изгиб на конце конической части чаши в сторону, противоположную направлению вращения разбрасывателя 11. Радиус изгиба концов лопаток определяется неравенством:

$$R_2 \geq 1,5R_1,$$

где R_1 – радиус концов длинных лопаток;

R_2 – радиус изгиба концов длинных лопаток.

Сепаратор работает следующим образом.

Обрабатываемый зерновой материал поступает в загрузочную горловину, которая в нижней части имеет конусное сужение для обеспечения

равномерной с определённой скоростью подачи на разбрасыватель. Направляющий конус способствует равномерному распределению зерна по чаше разбрасывателя. Поступающему зерновому материалу сообщается угловая скорость, равная угловой скорости разбрасывателя за

счёт длинных и коротких разгонных лопаток. За счёт конструкции лопаток разной длины и плавно отогнутой наружу кромки боковины чаши обеспечивается равномерность движения «зерновой струи» с требуемой скоростью.

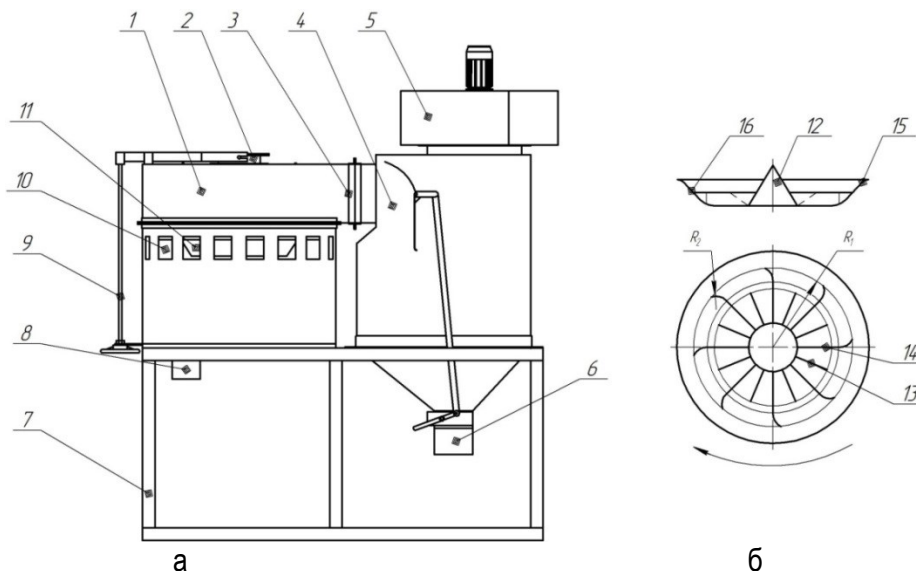


Рис. 1. Общий вид машины:

- а – центробежно-воздушный сепаратор; б – конический разбрасыватель;**
1 – цилиндрический корпус, 2 – загрузочная горловина, 3 – выпускной патрубок, 4 – осадочная камера, 5 – вентилятор, 6 – вывод легких примесей с клапаном, 7 – рама, 8 – патрубок вывода очищенного зерна, 9 – механизм регулировки скорости воздуха, 10 – всасывающие окна, 11 – разбрасыватель, 12 – направляющий конус, 13 – короткие разгонные лопатки, 14 – длинные разгонные лопатки, 15 – плавно отогнутая наружу кромка конической части разбрасывателя, 16 – боковина чаши разбрасывателя

Зерновой материал, сходящий с разбрасывателя, поступает в кольцевой пневмосепарирующий канал, где выделяются лёгкие примеси, которые по патрубку поступают в осадочную камеру. Максимальная эффективность очистки зерна от лёгких примесей может быть достигнута при обеспечении определённой скорости ввода зерна в пневмосепарирующий канал, конструкции конического отражателя и обратного конуса. Взаимосвязь этих параметров обеспечивает двойное воздействие воздушного потока на сепарируемый материал в рабочей зоне. Полнота выделения лёгких примесей в результате действия этих факторов возрастает.

Далее очищенный зерновой материал от лёгких примесей поступает на вспомогательный конус и скребками по выгрузному патрубку выводится из машины. Из осадочной камеры лёгкие примеси по патрубку за счёт клапана также выводятся наружу.

Скорость воздушного потока регулируется заслонкой, установленной в патрубке вывода легких примесей, а более тонкая регулировка осуществляется механизмом 9.

В технологиях послеуборочной обработки зерна наибольшее распространение получили центробежные разгрузочные устройства (циклоны). Практика показывает, что при работе воздушных и воздушно-решетных зерноочистительных машин [5, 6] чаще всего применяют циклоны, так как они менее громоздкие в сравнении с объемными разгрузочными устройствами.

Эти устройства способны резко снижать скорость воздушного потока. В кольцевое пространство циклона примеси с воздухом подаются сбоку, по касательной к наружному цилиндру, и получают вращательное движение. Различные по величине для легких примесей и воздуха центробежные силы способствуют разделению поступающей в циклон смеси.

Частицы этих примесей под действием сил трения теряют скорость и скользят по конусу циклона и далее через отверстие в нижней части конуса выводятся наружу. Очищенный воздух отводится через встроенную трубу в малом цилиндре.

Циклон имеет свои особенности в работе. Он должен достаточно эффективно отделять поступающие легкие примеси от воздуха и не создавать значительное сопротивление. Для вывода легких примесей циклоны могут оборудоваться шлюзовыми затворами. После очистки воздуха в циклоне он выбрасывается наружу.

Для обеспечения эффективной работы центробежно-воздушного сепаратора с кольцевым пневмосепарирующим каналом необходимо обосновать параметры осадочной камеры и циклона и подобрать вентилятор [7].

Определим основные параметры этих устройств. Зная площадь кольцевого канала сепаратора $F = 0,31 \text{ м}^2$ и среднюю скорость воздушного потока в рабочей зоне сепарации $v_{cp} = 9,0 \text{ м/с}$, определим расход воздуха в канале:

$$Q_v = v_{cp} \cdot F \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (1)$$

Подставив значения v_{cp} и F в формулу (1), получим $10044 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определим скорость воздушного потока в осадочной камере с учетом цилиндрического расширения после зоны сепарирования:

$$v_{ок} = v_{cp} \cdot \frac{F}{F_{ок}}, \text{ м/с} \quad (2)$$

где $F_{ок} = B \cdot L$;

$B = 950 \text{ мм}$ – ширина осадочной камеры;

$L = 1200 \text{ мм}$ – длина осадочной камеры.

Тогда $F_{ок} = 1,14 \text{ м}^2$

$$v_{ок} = 7,0 \cdot \frac{0,31}{1,14} = 1,94 \text{ м/с}.$$

При таких конструктивных значениях осадочной камеры скорость воздушного потока снизилась до приемлемых значений $1,0\text{-}2,0 \text{ м/с}$. Полученная скорость воздушного потока позволяет частицам оседать в нижнюю часть камеры, и через выпускной клапан они выводятся из машины.

По расходу воздуха $Q_v = 10044 \text{ м}^3/\text{ч}$ к полному давлению $H_n = 960 \text{ Н/м}^2$ подбираем вентилятор № 5, имеющий число оборотов $n = 1400 \text{ об/мин}$.

Мощность, потребная на привод вентилятора:

$$N_v = \frac{Q_v \cdot H_n}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_v}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где η_v – КПД вентилятора, $\eta_v = 0,64$.

Учитывая потери мощности на трение в подшипниках качения и коэффициент запаса мощности, потребная мощность на привод вентилятора составит $N_v = 5,0 \text{ кВт}$.

Определим параметры циклона согласно представленной схеме.

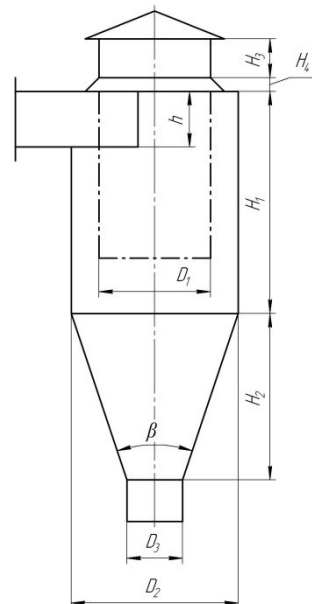


Рис. 2. Схема к определению конструктивных параметров циклона

Потери давления в циклоне находим по формуле:

$$\Delta H_{ц} = \xi_{ц} \cdot \gamma \cdot \frac{v_{вх}^2}{2g}, \quad (4)$$

где $\xi_{ц}$ – коэффициент потерь давления в циклоне ($\xi_{ц} = 3$);

$\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – удельный вес воздуха при стандартных условиях;

$v_{вх}$ – скорость входа воздуха в циклон, м/с.

Подставим значения всех параметров, входящих в формулу (4), получим $\Delta H_{ц} = 89,9 \text{ Н/м}^2$.

Определим внутренний диаметр D_1 циклона исходя из равенства:

$$D_1 = (0,05 \dots 0,065) \cdot \sqrt{60 \cdot Q_v}, \text{ м}, \quad (5)$$

где Q_v – расход воздуха в $\text{м}^3/\text{с}$.

Принимаем $D_1 = 0,63 \text{ м}$.

Наружный диаметр циклона

$$D_2 = (1,6 \dots 2,0) \cdot D_1, \text{ м}; \quad (6)$$

$$D_2 = 1,0 \dots 1,2 \text{ м}.$$

Размеры сечения диффузора в месте присоединения циклона к вентилятору определим по формуле:

$$b = \frac{D_2 - D_1}{2} \text{ и } h = 1,75 \cdot b; \quad (7)$$

$$b = 0,20 \dots 0,23 \text{ м}; h = 0,35 \dots 0,37 \text{ м}.$$

По сравнению со скоростью входа воздуха в циклон в самом циклоне она падает вследствие расширения воздушной струи:

$$v_{\text{ц}} = (0,6 \dots 0,7) \cdot v_{\text{вх}} = 4,2 \dots 4,9 \text{ м/с}.$$

Рекомендуемые размеры циклона (рис. 2):

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= 1,25D_1; H_4 = 0,1D_1; \\ H_3 &= 0,25D_1; D_3 = 0,4D_1 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Подставив значение D_1 в формулу (8), получим:

$$\begin{aligned} H_1 &= 0,79 \text{ м}; H_3 = 0,16 \text{ м}; \\ H_4 &= 0,063 \text{ м}; D_3 = 0,25 \text{ м}. \end{aligned}$$

Определим высоту конической части циклона:

$$H_2 = \frac{D_2 - D_3}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}, \text{ м},$$

где D_3 – диаметр отверстия для выхода легких примесей;

β – угол раскрытия конуса, принимаем $\beta = 70^\circ$.

$H_2 = 0,92 \text{ м}.$

Заключение

Воздушное сепарирование зерновых материалов в системе послеуборочной обработки зерна является одной из важных технологических операций, поэтому разработка новых способов сепарирования зерновых материалов воздушным потоком является перспективным направлением исследований. Воздушная очистка в решетных сепараторах повышает эффективность работы всей машины.

Проведенные расчеты основных параметров разгрузочных устройств центробежно-воздушного сепаратора позволили реально использовать их при практическом изготовлении в производственных условиях.

В настоящее время центробежно-воздушный сепаратор установлен в технологию мобильного зерноочистительного агрегата.

Технологические возможности разработанного способа сепарирования могут быть расширены при совмещении кольцевого пневмосепарирующего канала с решетным блоком центробежно-решетного сепаратора.

Библиографический список

1. Стрикунов, Н. И. Обоснование параметров кольцевого канала выхода очищенного зерна центробежного воздушного сепаратора / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, С. А. Черкашин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (162). – С. 168-172.

2. Патент России № 2675607 С1 МПК В07В 7/083 (2006.01). Центробежно-воздушный сепаратор / Леканов С. В., Стрикунов Н. И., Черкашин С. А. 2017146182; заявл. 26.12.2017; опубл. 20.12.2018, Бюл. № 35. – Текст: непосредственный.

3. Леканов, С. В. Техника и технологии послеуборочной обработки зерна и семян: рекомендации / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов. – Барнаул: Изд-во Алт. ИПК АПК, 2019. – 74 с. – Текст: непосредственный.

4. Леканов, С. В. Зерноочистительные машины: учебное пособие / С. В. Леканов, Н. И. Стрикунов, Б. Т. Тарасов. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 88 с. – Текст: непосредственный.

5. Стрикунов, Н.И. Классификация аспирационных систем центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 26. – С. 90-93.

6. Моделирование процессов зерновых сепараторов: монография / Л. Н. Тищенко, Д. А. Мазоренко, М. В. Пивень [и др.]; ХНТУСГ им. П. Василенко. – Х.: Миськдрук, 2010. – 359 с. – Текст: непосредственный.

7. Сычугов, Н. П. Установки пневматического транспорта: учебное пособие по курсу сельскохозяйственных машин / Н. П. Сычугов. – Москва, 1970. – 66 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Strikunov, N.I. Obosnovanie parametrov koltseвого kanala vykhoda ochishchennogo zerna tsentrobezhnogo vozdušnogo separatora / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, S.A. Cherkashin // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 (162). – S. 168-172.

2. Patent Rossii No. 2675607 S1 MPK V07V 7/083 (2006.01). Tsentrobezhno-vozdušnyi separator / Lekanov S.V., Strikunov N.I., Cherkashin S.A. 2017146182; zaiavl. 26.12.2017; opubl. 20.12.2018, Biul. No. 35.

3. Lekanov, S.V. Tekhnika i tekhnologii posleuborochnoi obrabotki zerna i semian: rekomendatsii / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov. – Barnaul: Izd-vo Alt. IPK APK, 2019. – 74 s.

4. Lekanov, S.V. Zernoochistitelnye mashiny: uchebnoe posobie / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov, B.T. Tarasov. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2010. – 88 s.

5. Strikunov, N.I. Klassifikatsiia aspiratsionnykh sistem tsentrobezhno-reshetnykh separatorov s vertikalnoi osiu vrashcheniia / N.I. Strikunov, S.V.

Lekanov // Molodoi uchenyi. – 2016. – No. 26. – S. 90-93.

6. Tishchenko L.N. Modelirovanie protsessov zernovykh separatorov. monogr. / L.N. Tishchenko, D.A. Mazorenko, M.V. Piven, S.A. Kharchenko, V.V. Bredikhin, A.V. Mandyryka; KhNTUSG im. P. Vasilenko. – Kharkov: Miskdruk, 2010. – 359 s.

7. Sychugov N.P. Ustanovki pnevmaticheskogo transporta / Uchebnoe posobie po kursu selskokhoziaistvennykh mashin. – Moskva, 1970. – 66 s.



УДК 621.37

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-213-7-102-107

Е.В. Титов, П.В. Иванов, В.И. Мозоль

E.V. Titov, P.V. Ivanov, V.I. Mozol

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ 30 МГц – 30 ГГц

IMPROVEMENT OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD METER IN THE FREQUENCY RANGE OF 30 MHZ – 30 GHZ

Ключевые слова: электромагнитное поле, технические ограничения измерителей, частотный диапазон 30 МГц – 30 ГГц, технические решения, измерительное устройство, патентный поиск, электромагнитный мониторинг, электромагнитная совместимость.

Энергия электромагнитного поля очень высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот в последнее время нашла широкое применение практически во всех сферах человеческой деятельности. Подтверждена необходимость контроля электромагнитного поля в частотном диапазоне 30 МГц – 30 ГГц и обоснована целесообразность детального анализа технических ограничений известных измерителей в этом диапазоне. Рассмотрена техническая проблема избирательного контроля электромагнитных излучений на отдельных частотах в широком диапазоне 30 МГц – 30 ГГц с выводом результатов измерения на портативный персональный компьютер. По результатам патентного поиска измерительных инструментов выявлены технические ограничения известных устройств контроля высокочастотных составляющих электромагнитного поля: недостаточная проработанность конечного устройства вывода/индикации, отсутствие промежуточных фильтров в измерительных и питающих цепях, использование термопреобразователей электромагнитной энергии в качестве детектирующего элемента, отсутствие

активных усилительных элементов, цепей выделения промежуточной частоты в исследуемом сигнале, микропроцессорного вычислительного блока, экранирования корпуса. Предложены технические решения по устранению выявленных ограничений посредством объединения в разработанном и защищенном патентом селективном измерительном инструменте широкополосной антенны, высокочастотного разъема и размещенных в экранирующем корпусе электромеханического блока коммутации, микроконтроллера, преобразователя частоты, аттенюатора, усилителя, генератора опорной частоты, логарифмического детектора, полосового фильтра, аналого-цифрового преобразователя, источника опорного напряжения, жидкокристаллического дисплея, COM-порта микроконтроллера и блока питания. Приведено описание разработанного устройства для контроля электромагнитного поля, учитывающего предлагаемые технические решения. Обоснована возможность избирательного контроля электромагнитных излучений на отдельных частотах. Представлены схема объединения элементов разработанного устройства и результаты моделирования входного спектра электромагнитного сигнала частотой 433 МГц и выходного спектра частотой 19 МГц, подтверждающие возможность избирательного контроля в заявленном частотном диапазоне и вывода результатов исследования на компьютер для обработки по универсальному алгоритму и представления в формализованной структуре.