

**Марат Гатауллин, Виктор Грибов**

**Marat Gataullin, Victor Gribov**

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА  
ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS  
DC POWER SUPPLIES**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Ural Federal University named after the first President of Russia  
B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

В настоящее время на производстве наибольшее распространение получили источники первичного и вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Они имеют конструктивные особенности, метрологические и технические характеристики, различные условия эксплуатации. Перед авторами стояла задача провести сравнительный анализ источников питания постоянного тока различных модификаций и обосновать выбор того или иного варианта.

At present, the most common sources of primary and secondary power supply for radio-electronic equipment are the most common in production. They have design features, metrological and technical characteristics, and various operating conditions. The authors were faced with the task of conducting a comparative analysis of DC power supplies of various modifications and substantiating the choice of one or another option.

**Ключевые слова:** источники питания, метрологические и технические характеристики.

**Keywords:** power supplies, pulsation, metrological and technical characteristics.

Источники электрического питания являются неотъемлемой частью любого электронного устройства, поскольку электрические цепи требуют источника электрической энергии [1]. Для работы большинства электронных устройств необходимо наличие одного или нескольких источников питания постоянного тока.

Все источники питания постоянного тока можно разделить на две группы: источники первичного электропитания и источники вторичного электропитания. Радиоэлектронная

аппаратура может иметь в своем составе источник питания первой группы, источник питания второй группы, источник питания первой и второй групп одновременно.

К источникам первичного электропитания относят: химические источники тока (гальванические элементы, батареи и аккумуляторы), термобатареи, термоэлектронные преобразователи, солнечные батареи, топливные элементы, биохимические источники тока, атомные элементы, электромашинные генераторы.

Источники вторичного электропитания представляют собой функциональные узлы радиоэлектронной аппаратуры или законченные устройства, использующие энергию, получаемую от системы электроснабжения или источника первичного электропитания и предназначенные для организации вторичного электропитания радиоаппаратуры [2].

Источники питания постоянного тока классифицируются на линейные и импульсные, переключающиеся источники питания, блоки питания на основе аккумуляторов.

Основным элементом линейного источника питания является трансформатор. Этот элемент уменьшает или увеличивает амплитуду входного напряжения, не меняя частоту промышленной сети. Переменное напряжение выпрямляется диодным мостом, подвергается низкочастотной фильтрации и сглаживается конденсаторами. Они обеспечивают высокое качество энергии и малый уровень пульсаций (шума), что делает идеальным выбором для чувствительных электронных устройств. Структурная схема такого источника представлена на рисунке 1.

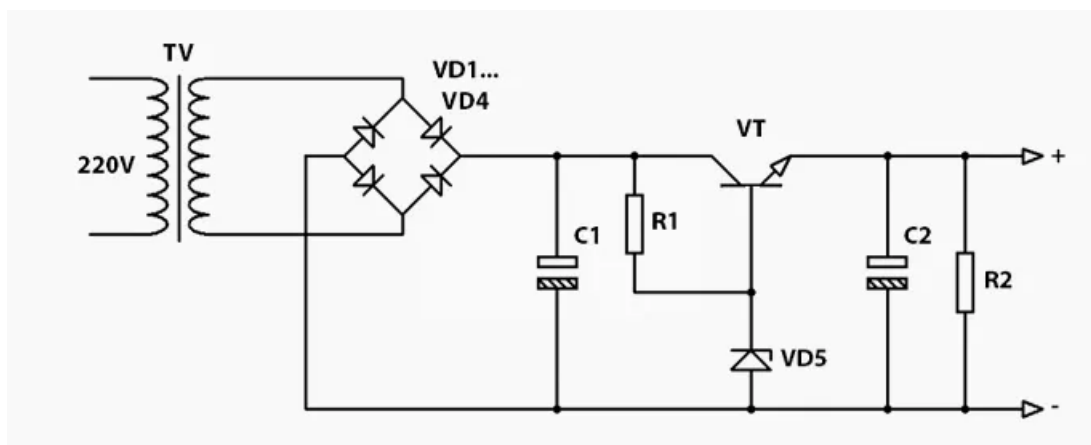


Рисунок 1 – Упрощенная функциональная схема линейного источника питания

Импульсные источники питания непосредственно выпрямляют и фильтруют напряжение питающей сети переменного тока без использования первичного силового трансформатора, который для частоты 50 Гц имеет значительные вес и габариты. Выпрямленный и отфильтрованный постоянный ток коммутируется мощным электронным ключом, затем преобразуется высокочастотным трансформатором, снова выпрямляется и

фильтруется. За счет использования более высоких частот в трансформаторах импульсных источниках питания уменьшается количество витков первичных и вторичных обмоток, что существенно влияет на массогабаритные показатели[2]. При помощи импульсной модуляции они обеспечивают существенно более высокую эффективность по сравнению с линейными источниками питания, они также являются более компактными и легкими, что делает их идеальным решением для портативных устройств [3].

Структурная схема импульсного источника питания представлена на рисунке 2

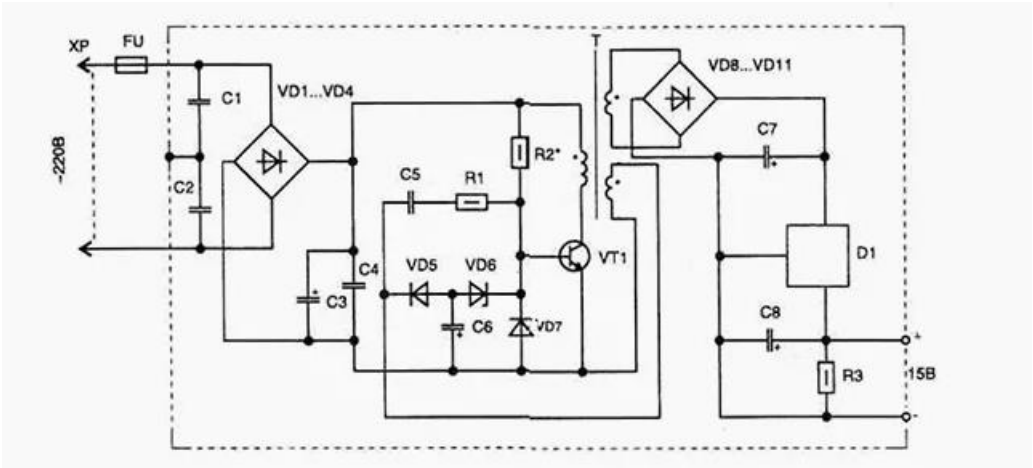


Рисунок 2– Упрощенная функциональная схема импульсного источника питания

В таблице 1 приведено сравнение двух типов источников питания по различным критериям.

Для оценки качества источника питания используют такие характеристики как показатели надежности, значения отклонения напряжения и тока входной сети; значения неустойчивости и пульсаций выходного напряжения; наличие защиты при аварийных режимах; коэффициент полезного действия; габаритные размеры и масса.

Степень важности отдельных показателей определяется конкретным видом нагрузки и условиями эксплуатации, однако для любого источника надежность работы является его важнейшей характеристикой. Она оценивается временем наработки на отказ и вероятностью безотказной работы. Выбор показателей надежности определяется назначением электроаппаратуры. Так, наибольшую наработку на отказ должна обеспечивать аппаратура, размещаемая на необслуживаемых объектах (космические аппараты, морские буи и т. п.).

Таблица 1

Сравнение двух типов источников питания по различным критериям

|                    |                                                                            |                                                           |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Критерий сравнения | Импульсный источник питания<br>Модель Kikusui, серия <a href="#">PMX-A</a> | Линейный источник питания<br>Модель Kikusui, серия PWR-01 |
| Принцип работы     | Широтно-импульсная модуляция                                               | Трансформатор                                             |

|                  |                              |                              |
|------------------|------------------------------|------------------------------|
|                  | (ШИМ)                        |                              |
| Достоинства      | Компактный размер            | Низкий уровень шума          |
|                  | Высокая эффективность        | Быстрый отклик               |
|                  | Легко адаптируемый           |                              |
| Недостатки       | Высокочастотный шум          | Устройство большое и тяжелое |
|                  |                              | Низкая эффективность         |
| Сфера применения | Системная интеграция         | Связь                        |
|                  | Авиация                      | Медицинское оборудование     |
|                  | Автомобильная промышленность | Лабораторное использование   |

Наибольшая вероятность безотказной работы требуется от электроаппаратуры, функционирование которой в течение заданного (сравнительно небольшого) времени должно быть гарантировано. К таким объектам относятся медицинская аппаратура, ракетная техника и т. п. Нарботка на отказ отдельных составных частей, источников питания обычно составляет  $(1,8 \dots 3,6) \cdot 10^8$  ч, а самих источников питания  $(0,72 \dots 2,54) \cdot 10^8$  ч. Вероятность безотказной работы источников и их функциональных узлов составляет примерно 0,95 за 1000 ч непрерывной работы [3].

Более конкретно с показателями надежности можно познакомиться на примере импульсных источников питания, которые входят в состав высокочастотных транзисторных преобразователей (таблица 2).

Из таблицы 2 следует, что безотказность импульсных источников питания, выпускаемых после 2000 г., определяется  $T_{ср}$  и находится в пределах 150 000–1 200 000 ч. Значение  $T_{ср}$  чаще всего приводится при температуре окружающего воздуха  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , например, обдувом. При повышении температуры выше  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (иногда  $+45$  или  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) рекомендуется или снижать значение тока нагрузки (на 40–50%), или производить интенсивное охлаждение источника. Заметим, что по поводу высоких показателей  $T_{ср}$  у специалистов возникают вопросы о корректности и достоверности приводимых значений, особенно если достоверно неизвестно, получены они расчетным или экспериментальным путем. Так, для импульсных источников фирмы «ММП Ирбис» в таблице указаны расчетные значения  $T_{ср}$ .

Таблица 2

Показатели надежности некоторых импульсных источников питания

| Тип, модель (год выпуска) | Фирма       | Выходные параметры    |                      |                           | Среднее время безотказной работы ( $T_{ср}$ ), $10^3$ час (при $T\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) |
|---------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           |             | $P_{\text{вых}}$ , Вт | $U_{\text{вых}}$ , В | $I_{\text{вых. max}}$ , А |                                                                                              |
| МП60А (2006)              | ММП «Ирбис» | 50                    | 5                    | 10                        | 150                                                                                          |

|                          |                      |     |                        |                          |            |
|--------------------------|----------------------|-----|------------------------|--------------------------|------------|
| БПС200Е (2006)           | ММП «Ирбис»          | 200 | 24                     | 8,3                      | 150        |
| КР600А-220D1212CL (2007) | «Александр-Электрик» | 480 | 12<br>12               | 20<br>20                 | 1200 (+25) |
| КР600А-220S48CL (2007)   | «Александр-Электрик» | 600 | 48                     | 12,5                     | 1200 (+25) |
| LWR1601-6 (2005)         | Power-One            | 125 | 24                     | 5,1                      | 600 (+40)  |
| FNP300-1012 (2005)       | Power-One            | 300 | 12                     | 25,0                     | 200 (+25)  |
| LPQ112-B (2002)          | Astec                | 110 | +5<br>+12<br>-12<br>25 | 9,0<br>4,5<br>0,7<br>2,5 | 550 (+25)  |
| LPS352-C (2002)          | Astec                | 350 | +5                     | 70,0                     | 550 (+25)  |

В то же время при проведении определительных испытаний на надежность, например, источник питания типа БПС200Е этой фирмы при минимальном числе отказов  $C = 1$ , длительности испытаний  $t_{исп} = 4000$  ч (примерно полгода), необходимое количество образцов источников составит  $N_{min} = 150\ 000/4000 = 38$ . Если же проводить испытания на надежность импульсных источников с большими значениями  $T_{cp}$  при тех же условиях, например:  $T_{cp} = 550\ 000$  ч (LPS352-C фирмы Astec) или  $1\ 200\ 000$  ч (КР600А-220D1212CL фирмы «Александр-Электрик»), то потребуются уже  $N_{min} = 138$  и  $N_{min} = 300$  образцов соответственно [4].

Для сравнения метрологических характеристики источников питания обратимся к средствам измерения, проходящим поверку в метрологической службе одного из оборонных предприятий (таблица 3).

Как видно из таблицы 3 предел допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения напряжения (установки) постоянного тока у импульсного источника питания меньше в 10 раз по сравнению с линейным источником питания. Установка силы постоянного тока у импульсного источника питания точнее в 5 раз по сравнению с линейным источником питания. Нестабильность силы тока на выходе при изменении напряжения питания у PSP-405 меньше в 4 раза по сравнению с GPS-72303. Однако пульсации напряжения на выходе у PSP-405 больше в 20 раз по сравнению с GPS-72303.

Таблица 3

Метрологические характеристики источников питания постоянного тока

| Характеристики источников питания                         | Типы источников питания         |                                   |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                                                           | PSP-405                         | GPS-72303                         |
| Тип исполнения                                            | Программируемый импульсный      | Программируемый линейный          |
| Предел допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения | $\pm (0,0005 U + 30\text{ мВ})$ | $\pm (0,005 U + 2\text{ е.м.р.})$ |

|                                                                                                                          |                                       |                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| напряжения (установки) постоянного тока                                                                                  |                                       |                                          |
| Предел допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения (установки) силы постоянного тока                              | $\pm (0,001 \cdot I + 10 \text{ мА})$ | $\pm (0,005 \cdot I + 2 \text{ е.м.р.})$ |
| Нестабильность силы тока на выходе при изменении напряжения питания                                                      | $\pm (0,0005 \cdot I + 5 \text{ мА})$ | $\pm (0,002 \cdot I + 3 \text{ мА})$     |
| Нестабильность силы тока на выходе при изменении напряжения на нагрузке (от $0,1 U_{\text{макс}}$ до $U_{\text{макс}}$ ) | $\pm 5 \text{ мА}$                    | $\pm (0,002 \cdot I + 5 \text{ мА})$     |
| Пульсации напряжения на выходе, не более                                                                                 | $20 \text{ мВ}_{\text{скз}}$          | $1 \text{ мВ}_{\text{скз}}$              |

Абсолютная погрешность воспроизведения напряжения (установки) постоянного тока PSP-405 и GPS 72303 определяется по формуле

$$\Delta = U_{\text{уст.}} - \Delta U_{\text{изм}}$$

где  $U_{\text{уст.}}$  – значение напряжения по показаниям поверяемого источника;

$U_{\text{изм}}$  – значение напряжения по показаниям мультиметра Keysight 3458A.

Определение нестability напряжения постоянного тока на выходе при изменении нагрузки проводят с помощью лабораторного автотрансформатора «Штиль» TSGC2-30-B, нагрузки электронной PEL 300 и мультиметра Keysight 3458 A.

Значение нестability напряжения постоянного тока на выходе при изменении нагрузки определяется по формуле

$$\Delta = U_{\text{уст.}} - \sqrt{\frac{\sum_1^n U^2}{n}}$$

где  $U_{\text{уст.}}$  – значение напряжения по показаниям поверяемого источника;

$U_{\text{н ср}}$  – среднее значение напряжения по показаниям мультиметра 3458A.

Для многоканальных источников питания определение нестability напряжения постоянного тока на выходе при изменении тока нагрузки проводят для каждого выходного канала.

Результаты поверки считают удовлетворительными, если полученные действительные значения метрологических характеристик не превышают установленные [5, 6].

В таблицах 4 и 5 представлены фрагменты протокола поверки источника питания PSP-405, а в таблицах 6 и 7 – источника питания GPS 72303.

Таблица 4

## Определение абсолютной погрешности установки напряжения постоянного тока

| Номинальное значение $U_{\text{вых}}$ , В | Измеренное значение $U_{\text{вых}}$ , В | Абсолютная погрешность, $U_{\text{вых}}$ | Допустимое значение абсолютной погрешности $U_{\text{вых}}$ |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 2,000                                     | 2,012                                    | -0,012                                   | $\pm 0,031$                                                 |
| 20,000                                    | 20,011                                   | -0,011                                   | $\pm 0,040$                                                 |
| 40,000                                    | 40,015                                   | -0,015                                   | $\pm 0,050$                                                 |

Таблица 5

## Определение нестабильности напряжения постоянного тока при изменении напряжения питания 198 В и 242 В

| Установ-<br>ленное<br>значение<br>напряже-<br>ния на<br>выходе, В | Измеренное значение напряжения, В |        |        |        |        | Среднее<br>значение<br>напряже-<br>ния, В | Измерен-<br>ное<br>значение<br>нестабиль-<br>ностинапр<br>яже-<br>ния, В | Допус-<br>каемое<br>значе-<br>ние, В |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                                                   | 1                                 | 2      | 3      | 4      | 5      |                                           |                                                                          |                                      |
| Напряжение питания 198 В                                          |                                   |        |        |        |        |                                           |                                                                          |                                      |
| 2,000                                                             | 1,995                             | 1,998  | 1,995  | 1,997  | 1,995  | 1,996                                     | 1,107                                                                    | ±0,006                               |
| 20,000                                                            | 20,005                            | 20,005 | 20,004 | 19,995 | 19,995 | 20,001                                    | 11,055                                                                   | ±0,015                               |
| 40,000                                                            | 39,995                            | 39,994 | 39,995 | 39,994 | 39,993 | 39,994                                    | 22,114                                                                   | ±0,025                               |
| Напряжение питания 242 В                                          |                                   |        |        |        |        |                                           |                                                                          |                                      |
| 2,000                                                             | 1,995                             | 1,997  | 1,995  | 1,997  | 1,995  | 1,996                                     | 1,107                                                                    | ±0,006                               |
| 20,000                                                            | 20,002                            | 20,003 | 20,003 | 19,998 | 19,997 | 20,001                                    | 11,055                                                                   | ±0,015                               |
| 40,000                                                            | 39,994                            | 39,995 | 39,996 | 39,994 | 39,992 | 39,994                                    | 22,114                                                                   | ±0,025                               |

Таблица 6

## Определение погрешности воспроизведения напряжения постоянного тока

| Номинальное значение напряжения постоянного тока, В | Допускаемое значение абсолютной погрешности напряжения постоянного тока, В | Измеренное значение напряжения постоянного тока, В | Расчетное значение абсолютной погрешности напряжения постоянного тока, В |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Источник 1                                          |                                                                            |                                                    |                                                                          |
| 3                                                   | 0,215                                                                      | 3,02                                               | -0,02                                                                    |
| 15                                                  | 0,275                                                                      | 15,06                                              | -0,06                                                                    |
| 30                                                  | 0,350                                                                      | 30,06                                              | -0,06                                                                    |

| Источник 2 |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|
| 3          | 0,215 | 3,04  | -0,04 |
| 15         | 0,275 | 15,04 | -0,04 |
| 30         | 0,350 | 30,08 | -0,08 |

Таблица 7

Определение нестабильности выходного напряжения постоянного тока при изменении тока нагрузки

| Номинальное значение напряжения, В | Допускаемое значение нестабильности выходного напряжения, В | Измеренное значение нестабильности выходного напряжения, В |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Источник 1                         |                                                             |                                                            |
| 3                                  | 0,0033                                                      | 0,0022                                                     |
| 30                                 | 0,0060                                                      | 0,0040                                                     |
| Источник 2                         |                                                             |                                                            |
| 3                                  | 0,0033                                                      | 0,0015                                                     |
| 30                                 | 0,0060                                                      | 0,0030                                                     |

Таким образом, результаты сравнительного анализа источников питания постоянного тока показывают, что линейные источники питания имеют более стабильное напряжение, но менее эффективны и греются в процессе работы. Импульсные источники питания компактны и эффективны, но имеют меньшую стабильность выходного напряжения. Поэтому при выборе источника питания необходимо учитывать не только такие важные характеристики источников питания как выходное напряжение, выходной ток, погрешность воспроизведения напряжения и силы тока, стабильность и защитные функции, но и назначение конкретного устройства и условия его эксплуатации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шустов М.А. Практическая схемотехника: Книга 2. Источники питания и стабилизаторы. – Москва : Издательский дом «Додэка-XXI», «Альтекс», 2007. – 200 с.
2. Ефимов И.П. Источники питания РЭА [электронный ресурс] / И.П.Ефимов – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 136 с. – URL: <https://lib.ulstu.ru/venec/2002/Efimov.pdf> (дата обращения: 12.12.2024).
3. Б. В. Артемьев. Источники электропитания в приборостроении : учеб. Пособие [электронный ресурс] / Б. В. Артемьев, В. Г. Костилов, В. А. Шахнов. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. – 397 с. – URL: [https://elearning.bmstu.ru/ru4/pluginfile.php/170/mod\\_resource/content/0/1.1.3.%20ОСНОВНЫЕ%20ПАРАМЕТРЫ%20ИСТОЧНИКОВ%20ПИТАНИЯ%20ЭА.pdf](https://elearning.bmstu.ru/ru4/pluginfile.php/170/mod_resource/content/0/1.1.3.%20ОСНОВНЫЕ%20ПАРАМЕТРЫ%20ИСТОЧНИКОВ%20ПИТАНИЯ%20ЭА.pdf) (дата обращения: 12.12.2024).
4. Надежность силовых устройств в России, мифы и реалии, проблемы и пути решения. Часть 4. Импульсные источники питания [электронный ресурс]. – URL: <https://power-e.ru/components/nadezhnost-silovyh-ustroystv-4/> (дата обращения: 12.12.2024).
5. Проведение поверки Государственная система обеспечения единства измерений. Источники питания постоянного тока PSP-603, PSP-405, PSP-2010. Методика поверки. МП-

220/447-2010: дата введения 27 января 2011 г. / разработан ФГУ «РОСТЕСТ-МОСКВА». – Москва, 2010. – V, 9 с.

6. Государственная система обеспечения единства измерений. Источники питания постоянного тока GPC, GPR, GPS, PSM. Методика поверки. МП-031/551-2013: дата введения 2013-10-24 / разработан ФГУ «РОСТЕСТ-МОСКВА». – Москва, 2013. – V, 10 с.

Сведения об авторах

Гатауллин Марат Фанилович    Студент магистратуры

Грибов Виктор Васильевич    Доцент кафедры

Кандидат технических наук

**Эльдар Ахтямов, Михаил Логинов**

**Eldar Akhtyamov, Mihail Loginov**

**МЕТОДИКИ ДИВЕРСИФИКАЦИИ НА МИКРОПРЕДПРИЯТИЯХ**

**METHODS OF DIVERSIFICATION IN MICROENTERPRISES**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург

Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg

Диверсификация деятельности предприятия является одной из ключевых стратегий управления рисками и повышения устойчивости бизнеса. Однако, несмотря на высокую эффективность данного подхода в крупном и среднем бизнесе, на микропредприятиях его применение сталкивается с рядом серьезных ограничений. В статье рассматриваются ключевые препятствия, обусловленные ресурсными, организационными и управленческими особенностями микробизнеса, а также приводится критический анализ существующих методов диверсификации с точки зрения их применимости в условиях малых масштабов производства.

Diversification of enterprise activities is one of the key strategies for risk management and enhancing business resilience. However, despite the high efficiency of this approach in large and medium-sized businesses, its application in microenterprises faces a number of serious limitations. This article examines the key obstacles caused by the resource, organizational, and managerial characteristics of microbusinesses. It also presents a critical analysis of existing diversification methods in terms of their applicability under small-scale production conditions.

**Ключевые слова:** диверсификация, микропредприятия, методики, критерии

**Key words:** diversification, microenterprises, methods, criteria.