

УДК 533.951.7,537.86/.87+530.182,621.385.6.029.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВЫХ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРИ БОЛЬШИХ ПАРАМЕТРАХ НЕОДНОРОДНОСТИ СКОРОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ

Ю. А. Калинин, А. В. Стародубов\*

Саратовский национальный исследовательский госуниверситет им. Н. Г. Чернышевского,  
г. Саратов, Россия

В работе приводятся результаты экспериментального исследования лабораторного макета электронно-волнового сверхвысокочастотного (СВЧ) усилителя для случая больших параметров неоднородности скоростей электронных потоков. Экспериментально выявлено влияние ряда факторов на коэффициент усиления подобных систем в рассматриваемом случае. Установлено, что при больших параметрах неоднородности существенное увеличение мощности входных сигналов приводит к росту коэффициента усиления системы. Предложенная схема работы электронно-волнового усилителя позволяет улучшить его стабильность, повысить коэффициент усиления до величины порядка 20 дБ, а также сократить геометрические размеры. Отмечена актуальность полученных экспериментальных результатов и изученных явлений при продвижении рабочих частот электронно-волновых усилителей в более коротковолновую область.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время процессы усиления полезных сигналов системами вакуумной электроники остаются в центре внимания исследователей, однако акцент смещается в более коротковолновую область [1–4]. Одной из основных проблем при разработке усилителей миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн является создание замедляющих систем. Например, использование замедляющих систем типа спираль, цепочка связанных резонаторов и тому подобных, традиционных для сантиметрового диапазона, в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах связано с такими проблемами, как недостаточное токопрохождение, слабый теплоотвод или его отсутствие, согласование замедляющей системы с элементами вывода мощности и тому подобных, которые в первую очередь обусловлены микронными размерами СВЧ узлов прибора [3]. Одним из возможных решений указанных проблем является использование приборов вакуумной электроники, в которых усиление полезного сигнала происходит без использования «материальной» замедляющей системы.

### 1. ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ ПРИ МАЛЫХ ПАРАМЕТРАХ НЕОДНОРОДНОСТИ

Изучение электронного потока, состоящего из электронов с различными скоростями, показывает, что при некоторых условиях возможно усиление наложенного на поток начального возмущения. Подобное усиление получило название электронно-волнового усиления (ЭВУ). В работах [5–10] были проведены исследования электронно-волнового взаимодействия двух электронных пучков с разными скоростями электронов, которые при перемешивании дают двугорбую функцию

---

\* StarodubovAV@gmail.com

распределения электронов по скоростям [10]. Подобная схема может быть интересна для реализации так называемого двухлучевого усиления [5–12]. В данном режиме один из электронных потоков (медленный электронный поток) выполняет роль замедляющей системы для другого электронного потока (быстрого электронного потока). Отметим, что теоретическое описание физических процессов в двухлучевом ЭВУ в рамках линейной теории приводится в работе [13]. В ней дано решение дисперсионного уравнения для системы с двумя попутными электронными потоками и указано, что оно имеет вид суперпозиции четырёх волн — нарастающей и затухающей с расстоянием и двух волн постоянной амплитуды. Одним из параметров, определяющих динамику рассматриваемой системы, является параметр неоднородности, который задаётся как

$$\chi = \frac{\omega \delta}{\omega_p v}, \quad (1)$$

где  $\omega$  — частота,  $\delta$  — разброс скоростей в электронном потоке,  $\omega_p$  — плазменная частота,  $v$  — средняя скорость электронного потока. Построение нелинейной теории двухлучевой лампы и её тестирование приведено в работе [14], где предложенная нелинейная модель двухлучевой системы демонстрирует хорошее соответствие линейной модели, но только на коротких промежутках взаимодействия, т. к. с ростом длины пространства дрейфа увеличивается вклад высших гармоник и соответствие между моделями пропадает. В работах [15, 16] выведены и исследованы нелинейные уравнения многолучевой лампы, установлены вытекающие из полученных уравнений законы сохранения, рассмотрены механизмы линейного и нелинейного усиления. В работах [15, 16] указано, что большой интерес представляет наличие в исследуемой лампе сильного нелинейного эффекта, который во много раз увеличивает усиление на единицу длины по сравнению с данными линейной теории. На основе теоретических исследований и численных расчётов в работе сделан вывод о перспективности применения данного типа устройств в качестве усилителей, т. к. предельный коэффициент полезного действия (КПД) двухлучевой лампы может достигать величин 60÷65% [15, 16]. На основе анализа имеющихся теоретических исследований и численного моделирования физических процессов в двухлучевых ЭВУ механизм развития колебаний при малых входных сигналах может быть объяснён на языке, близком к использованному при описании СВЧ приборов типа лампы бегущей волны. Если первый электронный поток, который характеризуется скоростью  $V_{01}$ , промодулирован СВЧ сигналом малой амплитуды, то быстрая волна в нём распространяется со скоростью

$$V_{ph1} = \frac{V_{01}}{1 - (\omega_{p11}/\omega)}, \quad (2)$$

где  $\omega_{p11}$  — плазменная частота первого электронного потока,  $\omega$  — частота внешнего сигнала. Промодулированный медленный электронный поток ( $V_{01} < V_{02}$ ) начинает играть роль своеобразной замедляющей системы для медленной волны во втором электронном потоке, который распространяется со скоростью  $V_{02} > V_{01}$ . Медленная волна во втором электронном потоке распространяется со скоростью

$$V_{ph2} = \frac{V_{02}}{1 - (\omega_{p12}/\omega)}, \quad (3)$$

где  $\omega_{p12}$  — плазменная частота второго электронного потока,  $\omega$  — частота внешнего сигнала.

Взаимодействие этих двух волн будет максимально эффективным, если их фазовые скорости приблизительно равны:

$$\frac{V_{01}}{1 - (\omega_{p11}/\omega)} \approx \frac{V_{02}}{1 - (\omega_{p12}/\omega)}.$$

Следует отметить, что после обнаружения явления усиления в системе двух попутных электронных потоков [7] выражалось мнение о перспективности (см. обзор [17] и ссылки в нём) данного подхода в практическом отношении, в особенности при создании источников миллиметрового и субмиллиметрового микроволнового излучения. Одним из достоинств указанного способа было то, для работы ЭВУ не требовались замедляющие системы, т. к. роль замедляющей системы для быстрого электронного потока выполнял медленный электронный поток. При переходе к более высоким частотам требуется уменьшать разность скоростей электронных потоков. Сближение скоростей потоков ограничено существующим разбросом электронов по скоростям, т. к. при величине  $V_{02} - V_{01}$ , сравнимой с разбросом по скоростям, два электронных потока перестают различаться. Таким образом, повышение рабочей частоты ЭВУ сопряжено с большими трудностями. Указанный результат относится к режимам работы ЭВУ при малых параметрах неоднородности. Имеет место также другой режим работы ЭВУ, названный крестатронным [18], для реализации которого необходимы большие параметры неоднородности ( $\chi \approx 3,0 \div 3,5$ ).

Целью данной работы было проведение экспериментального исследования ЭВУ при больших параметрах неоднородности ( $\chi \approx 3,0 \div 3,5$ ), в том числе при различных соотношениях  $P_{in}/P_0$  уровней мощности входного сигнала и мощности электронного пучка. Соотношение  $P_{in}/P_0$  (где  $P_{in}$  — мощность входного сигнала,  $P_0$  — мощность электронного пучка) для последнего случая изменялось в диапазоне  $10^{-2} \div 10^{-5}$ . Отметим, что классические режимы усиления, например в лампе бегущей волны, в том числе и нелинейный режим, реализуются при  $P_{in}/P_0 \approx 10^{-4} \div 10^{-5}$ . При этом технический КПД лампы бегущей волны при  $P_{in}/P_0 \approx 10^{-4} \div 10^{-5}$  составляет величину порядка 20 % [19] (коэффициент усиления достигает 40 ÷ 45 дБ), в то время как для случая больших входных сигналов ( $P_{in}/P_0 \approx 10^{-3}$ ) используются прозрачные лампы бегущей волны [20] (без локального поглотителя) с малыми коэффициентами усиления (порядка 8 ÷ 10 дБ), технический КПД которых составляет величину порядка 45 %. Указанные данные относятся к частотному диапазону 1 ÷ 8 ГГц.

## 2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Эскиз экспериментального макета ЭВУ представлен на рис. 1. В разработанном экспериментальном макете ЭВУ электронная пушка со сферическим катодом формировала цилиндрический пучок с током до 300 мА при напряжении до 10 кВ в импульсном режиме (длительность импульса  $t = 50$  мкс, скважность  $Q = 1000$ ). Подача входного сигнала с мощностью до  $P_{in} = 10$  Вт осуществлялась с помощью отрезка спирали диаметром 10 мм (диаметр трубы дрейфа 20 мм), количество витков 4, длина 22 мм, шаг 5,5 мм.

Электронный пучок фокусировался периодической магнитной системой с амплитудой поля  $B_0 = 0,05$  Тл и периодом 25 мм. Общая длина прибора составила 300 мм. Эксперименты проводились в диапазоне 1 ÷ 8 ГГц.

Основной задачей в процессе проведения экспериментального исследования являлось создание двухскоростного электронного пучка. Решение данной задачи может быть осуществлено, например, с использованием двух пушек, одна из которых формирует сплошной пучок со своим ускоряющим потенциалом на аноде, а вторая — полый электронный пучок с другим, отличным от первого, потенциалом на аноде. Известны также другие подходы, которые основаны на формировании управляемого разброса электронов по скоростям [21, 22], например использование двухсекционных структур, формирующих пучки с двугорбой функцией распределения электронов по скоростям [23]. В наших экспериментальных исследованиях мы использовали эффект «трансламинарного» слоя электронного пучка, стартующего с края сферического катода при отрицательных потенциалах на фокусирующем электроде [24]. Как показали эксперименты, такой слой содержит

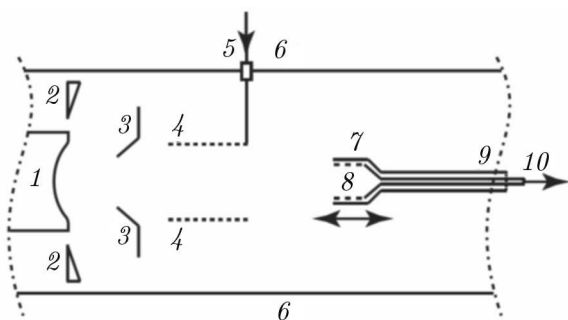


Рис. 1. Эскиз макета электронно-волнового усилителя: 1 — катод, 2 — фокусирующий электрод, 3 — анод, 4 — отрезок спирали для ввода СВЧ сигнала, 5 — ввод СВЧ сигнала, 6 — металлическая труба, 7 — подвижной зонд, 8 — широкополосный съёмник энергии в виде отрезка спирали, 9 — коаксиальный широкополосный вывод энергии, 10 — коаксиальная линия

с коллектором вывод СВЧ энергии, представляющий отрезок электродинамической системы в виде нескольких витков спирали, соединённый с широкополосной коаксиальной линией. Это устройство с помощью координатной системы экспериментальной измерительной установки могло посредством шаговых двигателей перемещаться в трёх взаимно перпендикулярных плоскостях [25, 26]. Подвижной съёмник энергии позволял проводить измерения в различных плоскостях пространства взаимодействия, т. е. изменять его длину, что имеет принципиальное значение при анализе систем с двухлучевым взаимодействием.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Перейдём к рассмотрению результатов экспериментального исследования. Изучение зависимости коэффициента усиления  $G$  от величины отрицательного потенциала на фокусирующем электроде показало, что настройка по потенциалу фокусирующего электрода позволяет получать двугорбую функцию распределения электронов по скоростям, а также максимальные значения коэффициента усиления  $G$ . Эти величины потенциалов составляют  $-(0,2 \div 0,1)U_{\text{cat}}$ , где  $U_{\text{cat}}$  — потенциал на катоде. Указанные результаты получены при длине пространства взаимодействия  $z = 50$  мм. Зависимость оптимального значения разброса скоростей электронов от относительной мощности входного сигнала  $P_{\text{in}}/P_0$  приведена на рис. 2. Из него отчётливо видно, что оптимальная величина расстройки скоростей электронов в пучках увеличивается при росте мощности входного сигнала относительно мощности электронного пучка. Последнее приводит к большим значениям параметра неоднородности, а значит, система остаётся в области существования 4 волн постоянной амплитуды или, другими словами, сохраняется крестатронный режим работы.

Зависимость коэффициента усиления  $G$  от расстройки скорости двух электронных пучков приведена на рис. 3. Видно, что максимум величины  $G$  достигается при расстройке, лежащей в диапазоне  $0,10 \div 0,25$ . Другими словами, режим работы ЭВУ при большом уровне мощности входных сигналов ( $P_{\text{in}}/P_0 = 10^{-3}$ ) позволяет получать максимальные значения коэффициентов усиления в случае, когда два электронных пучка имеют существенный разброс по скоростям, значительно превышающий уровень тепловых шумов.

$20 \div 25\%$  тока пучка, характеризуется большими поперечными скоростями электронов и, следовательно, такие электроны имеют меньшие по сравнению с основной массой пучка продольные скорости. Измерения методом тормозящего поля [25] функции распределения электронов по скоростям показали, что при определённых значениях отрицательного относительно катода потенциала фокусирующего электрода функция распределения электронов по скоростям на выходе из анода имеет двугорбый вид [10]. Следует отметить, что изменением потенциала фокусирующего электрода можно управлять формой функции распределения электронов по скоростям.

Экспериментальное исследование проводилось на разборной вакуумной установке [25]. Отличительной особенностью используемого лабораторного макета ЭВУ являлся совмещённый

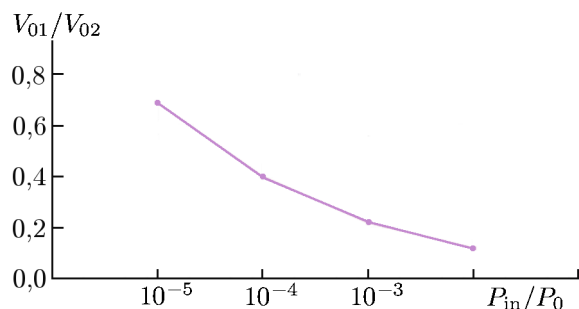


Рис. 2. Зависимость оптимального значения разброса скоростей электронов от относительной мощности входного сигнала  $P_{in}/P_0$ . Частота входного сигнала составляет  $f = 1,5$  ГГц

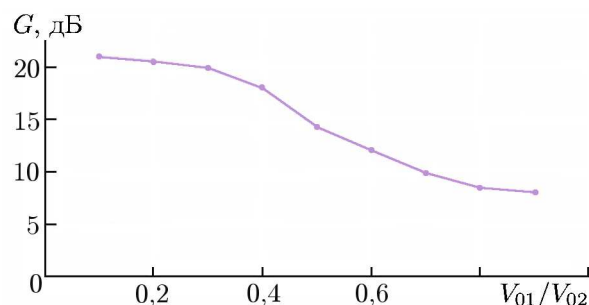


Рис. 3. Зависимость коэффициента усиления  $G$  от величины расстройки скорости двух электронных пучков. Частота входного сигнала составляет  $f = 1,5$  ГГц, его относительная мощность  $P_{in}/P_0 = 10^{-3}$

Результаты экспериментального исследования оптимального соотношения  $(V_{02}/V_{01})_{opt}$  для достижения максимального коэффициента усиления в полосе частот  $f = 1 \div 8$  ГГц приведены в табл. 1. Из представленных в ней данных следует, что с ростом частоты наблюдается постепенное снижение коэффициента усиления. В то же время оптимальная разность скоростей между двумя электронными потоками сохраняется практически на одном уровне.

Присутствие подвижного съёмника энергии, совмещённого с коллектором лабораторного макета ЭВУ, позволило провести исследования зависимости коэффициента усиления  $G$  от длины пространства взаимодействия. На рис. 4 приведены результаты экспериментальных исследований, полученные при различных величинах расстройки скоростей электронов в пучках. Из него видно, что в случае больших входных сигналов увеличение расстройки скоростей электронов в пучках приводит к получению максимальных значений коэффициента усиления при минимальной протяжённости пространства взаимодействия. Был проведён расчёт эффективности работы лабораторного макета ЭВУ. Электронный КПД  $\eta_e$  рассчитывался как  $\eta_e = P_{out}/P_0$ , где потребляемая мощность равна  $P_0$  (мощность электронного пучка). Технический КПД  $\eta_t$  находился по формуле  $\eta_t = P_{out}/P_r$ , где  $P_r$  — потребляемая мощность в режиме рекуперации. Отметим, что использование эффекта рекуперации (торможения электронного пучка в коллекторе) позволяет уменьшить потребляемую мощность. Проведённый расчёт показал, что максимальное значение электронного КПД достигает  $\eta_e = 42\%$ , а технического КПД  $\eta_t = 54\%$ .

Таблица 1

$f$ , ГГц	$G$ , дБ	$(V_{02}/V_{01})_{opt}$
1	21,0	0,20
2	18,0	0,22
3	18,0	0,27
4	16,0	0,18
5	16,0	0,14
6	15,8	0,25
7	14,5	0,27
8	14,0	0,33

## ВЫВОДЫ

В результате проведённых экспериментальных исследований и анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1) Оптимальная величина расстройки скоростей электронов в пучках увеличивается при росте отношения  $P_{out}/P_0$  от  $10^{-5}$  до  $10^{-2}$ .

2) Коэффициент усиления возрастает в режиме больших входных сигналов до величины порядка 20 дБ. При малых входных сигналах эта величина составляет  $4 \div 6$  дБ. Отметим, что

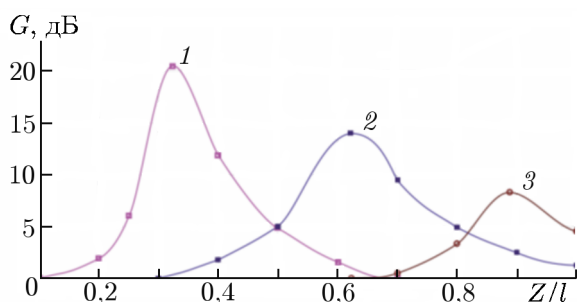


Рис. 4. Зависимость коэффициента усиления  $G$  от длины пространства взаимодействия ( $l = 250$  мм) при различных величинах расстройки скоростей электронов в пучках: 1 —  $V_{02}/V_{01} = 0,21$ ; 2 —  $V_{02}/V_{01} = 0,6$ ; 3 —  $V_{02}/V_{01} = 0,9$ . Частота входного сигнала составляет  $f = 1,5$  ГГц, его относительная мощность  $P_{in}/P_0 = 10^{-3}$

бора при длине пространства взаимодействия до 100 мм не наблюдалось.

6) Для целей двухлучевого усиления может быть эффективно двухсеточное управление скоростями электронов [22].

7) Расчёт эффективности работы лабораторного макета ЭВУ показал, что максимальное значение электронного КПД достигает 42%, а технического КПД 54%. Отметим, что указанные результаты находятся в хорошем соответствии с ранее теоретически рассчитанными предельными значениями КПД для двухлучевых ЭВУ [15, 16].

Таким образом, в работе проведено экспериментальное исследование лабораторного макета электронно-волнового усилителя при больших параметрах неоднородности скоростей электронных потоков. Актуальность полученных результатов заключена в возможности преодоления существующих трудностей, связанных с продвижением рабочих частот этих приборов в более коротковолновую область. Существующая проблема состоит в том, что при малых параметрах неоднородности с переходом в область более высоких частот приходится уменьшать разность между скоростями медленного и быстрого электронных пучков. Уменьшение указанной разности скоростей возможно лишь до уровня теплового разброса скоростей в электронном потоке, т. к. при превышении данного уровня два электронных пучка перестанут различаться. Чтобы увеличить «запас» в разности скоростей между быстрым и медленным электронными потоками, предлагается использовать крестатронный режим работы ЭВУ, который реализуется при больших параметрах неоднородности. Проведённые экспериментальные исследования показали, что в крестатронном режиме работы ЭВУ также возможно получение высоких уровней усиления входных сигналов и, что особенно важно, это имеет место при больших значениях расстройки скоростей взаимодействующих быстрого и медленного электронных пучков. Попытки расчёта коэффициента усиления двухлучевого ЭВУ в коротковолновой части СВЧ диапазона (от 3 до 300 ГГц) при больших параметрах неоднородности предприняты в работе [13], где показано, что путём увеличения параметра неоднородности  $\chi$  можно либо добиться увеличения усиления на заданной длине системы, либо сократить рабочую длину системы, сохранив уровень усиления. Перспективность данного направления развития приборов и устройств вакуумной СВЧ электроники подтверждается появлением ряда теоретических работ, в которых обсуждаются подобные исследуемой в данной работе электронно-волновые схемы [28–31].

эффект роста коэффициента усиления с увеличением мощности входных сигналов при больших параметрах неоднородности хорошо известен в электронике СВЧ, например для усилителей типа лампы бегущей волны [27].

3) Максимальное значение коэффициента усиления при больших входных сигналах достигается на длине пространства взаимодействия порядка 100 мм, что в 2 раза меньше по сравнению с режимом работы при малых входных сигналах ( $P_{out}/P_0 \approx 10^{-5}$ ).

4) Полоса усиливаемых частот в режиме работы при больших входных сигналах занимает диапазон 1÷8 ГГц. Мгновенная полоса усиления достигает 20%.

5) При усилении до 20 дБ в случае больших входных сигналов паразитных возбуждений при-

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 19–02–00757), а также Министерства образования и науки РФ в рамках проектной части госзадания (проект 3.859.2017/4.6).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Siegel P. // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 2002. V. 50, No. 3. P. 910.
2. Sherwin M. // Nature. 2002. V. 420. P. 131.
3. Booske J. H. // Phys. Plasmas. 2008. V. 15, No. 5. Art. no. 055502.
4. Lewis R. A. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2014. V. 47, No. 37. Art. no. 374001.
5. Bishofberger K., Carlsten B., Faehl R. // Proc. LINAC08. Victoria, Canada, 29 September–3 October 2008, Victoria, Canada, 1D-FELs. P. 504.
6. Nergaard L. E. // RCA Rev. 1948. V. 9. P. 585.
7. Haeff A. // Proc. IRE. 1949. V. 37, No. 4. P. 4.
8. Hollenberg J. // Bell Syst. Tech. J. 1949. V. 28. P. 52.
9. Вайнштейн Л. А., Лесик Н. И., Рожнев А. Г., Трубецков Д. И. Лекции по электронике СВЧ и радиофизике (6-я зимняя школа-семинар инженеров). Саратов: Изд-во СГУ, 1983. С. 147.
10. Калинин Ю. А., Фокин А. С. // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40, вып. 5. С. 75.
11. Антипов В. С., Безязычный И. А., Бережная И. В. и др. // Вопросы атомной науки и техники. 2008. № 4. С. 38.
12. Шевчик В. Н., Швецов Г. Н., Соболева А. В. Волновые и колебательные явления в электронных потоках на сверхвысоких частотах. Саратов: Изд-во СГУ, 1962. 336 с.
13. Трубецков Д. И., Титов А. В., Фунтов А. А. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39, вып. 21. С. 86.
14. Волощук С. С. // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2015. Т. 23, № 3. С. 38.
15. Филимонов Г. Ф. // Радиотехника и электроника. 1959. № 3. С. 489.
16. Филимонов Г. Ф. // Радиотехника и электроника. 1959. № 5. С. 832.
17. Лопухин В. М. // Успехи физ. наук. 1950. Т. 40, № 4. С. 592.
18. Rowe J. E. // Proc. IRE. 1959. V. 47, No. 4. P. 536.
19. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 1, 2. М.: Физматлит, 2003. 2004.
20. Калинин Ю. А., Стародубов А. В. // Письма в ЖТФ. 2018. Т. 44, № 18. С. 53.
21. Kalinin Yu. A., Starodubov A. V. // Phys. Wave Phenomena. 2011. Vol. 19, No. 1. P. 18.
22. Калинин Ю. А., Стародубов А. В. // Журн. техн. физ. 2010. Т. 80, № 12. С. 80.
23. Kalinin Yu. A., Starodubov A. V., Fokin A. S. // Phys. Wave Phenomena. 2012. V. 20, No 3. P. 193.
24. Алямовский И. В. Электронные пучки и электронные пушки. М.: Сов. радио, 1966. 454 с.
25. Калинин Ю. А., Есин А. Д. Методы и средства физического эксперимента в вакуумной СВЧ-электронике. Саратов: Изд-во СГУ, 1991. 212 с.
26. Калинин Ю. А., Стародубов А. В., Муштаков А. В. // Журн. техн. физ. 2011. Т. 81, № 6. С. 92.
27. Цейтлин М. Б., Кац А. М. Лампа с бегущей волной. М.: Сов. радио, 1964. 308 с.
28. Bishofberger K., Kip A. // IEEE Int. Vacuum Electron. Conf. 2008. 22–24 April 2008, Monterey, USA. P. 164.
29. Svimonishvili T., Bishofberger K., Faehl R. J., Carlsten B. E. // Abstr. IEEE Int. Conf. Plasma Sci. 20–24 June 2010, Norfolk, USA. Art. no. 5533976.
30. Carlsten B., Bishofberger K., Faehl R. // Phys. Plasmas. 2008. V. 15. Art. no. 073101.
31. Liu W., Jang Z., Liang Z., et al. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2008. V. 36, No. 3. P. 748.

Поступила в редакцию 5 октября 2018 г.; принята в печать 30 января 2019 г.

**STUDY OF ELECTRON-WAVE MICROWAVE AMPLIFIERS AT HIGH VALUES  
OF THE INHOMOGENEITY PARAMETERS OF THE ELECTRON BEAM  
VELOCITIES**

*Yu. A. Kalinin and A. V. Starodubov*

We present the results of experimental investigation of a laboratory prototype of the electron-wave microwave amplifier for the case of great values of the inhomogeneity parameters of electron beam velocities. The influence of several factors on the gain ratio of such systems in the case under consideration is demonstrated experimentally. It is found that at great values of the inhomogeneity parameters a significant increase in the power of the input signals leads to an increase in the gain ratio of the system. The proposed scheme of operation of the electron-wave amplifier allows improving its stability, increasing the gain ratio to a value of about 20 dB, and reducing its size. The significance of the obtained experimental results and studied phenomena for advancement of the operating frequencies of electron-wave amplifiers into a shorter-wavelength band is shown.