

---

---

**ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРИБОРЫ, МОДЕЛИ  
И МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

---

---

УДК 621.384.668.8: 537.534.1/. 8

© Ю. И. Хасин, М. А. Гаврик, Б. Н. Козлов, М. З. Мурадымов,  
М. И. Явор, А. Н. Веренчиков**ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И МАССОВОЙ ТОЧНОСТИ  
МНОГООТРАЖАТЕЛЬНОГО ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО  
МАСС-СПЕКТРОМЕТРА С НЕПРЕРЫВНЫМ  
ИСТОЧНИКОМ ИОНОВ**

В работе предложен и испытан новый тип импульсного конвертера для ввода ионов в многоотражательный планарный времяпролетный масс-анализатор. Достигнута разрешающая способность более 70 000 в полном диапазоне масс, массовая точность — доли ед. ppm и чувствительность, сходная с масс-рефлектоном, имеющим рабочий цикл 20 %.

**ВВЕДЕНИЕ**

В работах нашей группы [1–9] ранее был предложен и испытан новый тип масс-анализатора — многоотражательный планарный времяпролетный масс-анализатор (МОП ВПМА), позволивший достигнуть высокой разрешающей способности — более 200 000, а в отдельных экспериментах [9] и более 1 000 000. В анализаторе применяется планарная геометрия 2 параллельных зеркал, что позволяет организовать многократные отражения ионов по незамкнутой зигзагообразной траектории и благодаря этому воспринимать полный массовый диапазон. Система фокусирующих зеркал и периодических линз в бесполовом пространстве позволяет удерживать ионы на большой длине пролета. При этом свойства электростатических полей оптимизированы, и достигается высокий порядок пространственной и времяпролетной фокусировок. В последующем цикле исследований [10–20] анализатор был состыкован с непрерывными источниками ионов с ионизацией при атмосферном давлении (API) и "Электроспрей".

В [10–13] для конверсии непрерывного ионного пучка в импульсные пакеты был использован хорошо известный принцип ортогонального ускорения [21]. В таком приборе достигнута разрешающая способность  $R \sim 30\,000$  в полном диапазоне масс, а при сужении массового диапазона —  $R \sim 100\,000$ . Достигнута высокая массовая точность и линейность шкалы масс на уровне 1 ppm. Однако рабочий цикл ортогонального ускорителя (т. е. отбираемая им для инъекции в анализатор часть непрерывного ионного пучка) составил порядка 0.5 %, т. е. чувствительность прибора оказалась в 30–50 раз ниже по сравнению со стандартными времяпролетными масс-спектрометрами (ВПМС)

с ортогональным ускорителем. Рабочий цикл ограничен как низкой частотой повторения импульсов в МОП ВПМА (1 кГц), так и малым размером пучка (2 мм), необходимым для минимизации временного разброса при прохождении периодических линз. Для повышения эффективности конверсии использовалась схема "пульсар" [22], в которой ионы накапливались у выхода радиочастотного ионного гида в промежутках между редкими импульсами. Схема "пульсар" позволяет повышать сигнал до 50–100 раз. Однако из-за малой длины ионного пучка в ортогональном ускорителе происходит значительное сужение массового диапазона. Так, в районе величины отношения массы к заряду иона  $m/z = 500$  а.е.м./е массовое окно составляет лишь  $m/z = 100$  а.е.м./е.

В [15] предложена схема с существенно большим рабочим циклом. Для конверсии ионного пучка была использована оригинальная схема радиочастотной ионной ловушки с аксиальным выводом ионов. Согласно этой схеме, в промежутках между импульсами ионы накапливаются в ловушке, организованной у выхода радиочастотного ионпровода. С помощью дополнительных электродов в этой зоне сформирована продольная электростатическая яма. Ионные пакеты создаются при аксиальном ускорении ионов с помощью электрических импульсов, приложенных к дополнительным электродам. В схеме достигается практически 100 % эффективность конверсии пучка в ионные пакеты [16]. При входном токе в ловушку около 10 пА ( $6 \times 10^7$  элементарных зарядов в секунду) и частоте повторения 500 Гц число ионов на выстрел достигает  $10^5$ . При использовании ловушечного источника в сочетании с МОП ВПМА не менее 10 % ионов достигают детектора, и суммарная эффективность конверсии составляет не ме-

нее 10 % [17–19], т. е. чувствительность прибора не уступает чувствительности стандартных ВПМС с ортогональным ускорителем. Более того, по нашему собственному опыту, достигаются беспрецедентные интенсивности сигнала, не наблюдаемые нами ни в одной из ранее испытанных ВПМС с источником ионов "Электроспрей". Достаточно сказать, что большинство коммерческих систем до сих пор используют счетные системы регистрации сигнала с числом каналов от 1 до 32, т. е. интенсивность сигнала не превышает 10 ионов на пик на выстрел, и при типичной частоте повторения  $10^4$  Гц в секунду интенсивность не превышает  $10^5$  ионов на пик в секунду. В нашем приборе [18] достигаются до  $10^4$  ионов на выстрел и до  $10^7$  ионов на пик в секунду.

Разрешающая способность прибора достигает 50 000 в полном диапазоне масс и более 100 000 в многопроходном режиме, сопровождающемся сужением массового диапазона.

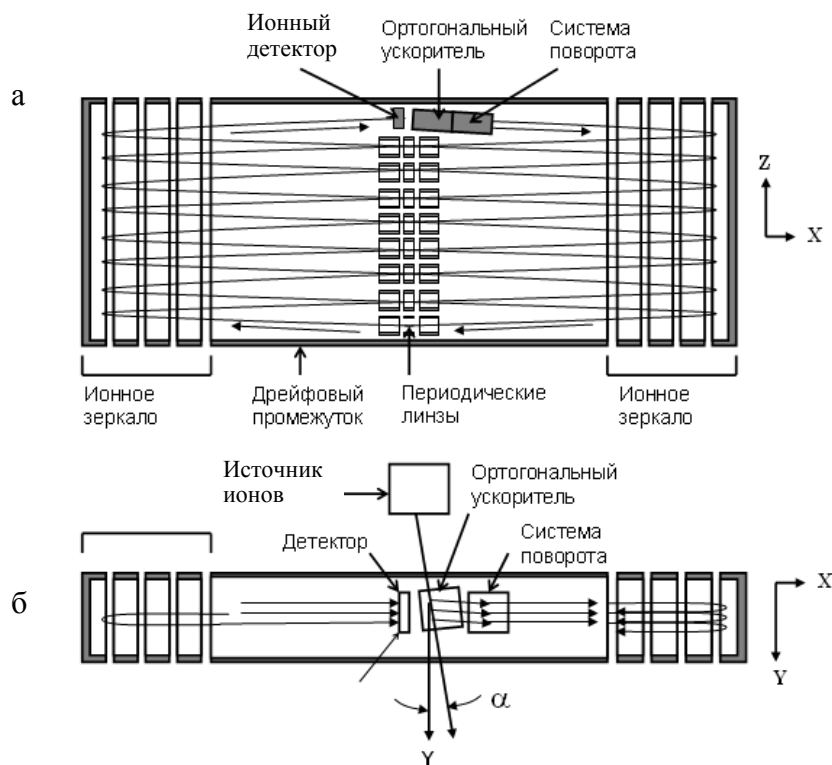
К сожалению, конвертер на основе ионной ловушки обладает несколькими весьма существенными недостатками, ограничивающими массовую точность прибора на уровне 10 ppm. Во-первых, взаимные наводки импульсов и радиочастотных напряжений нарушают линейность шкалы масс. Во-вторых, эффекты объемного заряда в ловушке и в масс-анализаторе приводят к смещению пиков в зависимости от интенсивности пиков. Кроме

того, интенсивности сигналов настолько высоки, что не хватает динамического диапазона ионного детектора, предусилителя и АЦП для корректной регистрации ионов в полном динамическом диапазоне.

В данной работе предложена и исследована альтернативная схема импульсной конверсии, существенно повышающая рабочий цикл ортогонального ускорителя без нарушения массовой точности. В приборе достигается рекордный для времяпролетных масс-спектрометров набор аналитических параметров: разрешающая способность более 70 000 в полном диапазоне масс, массовая точность в долях единиц ppm и чувствительность, сходная с чувствительностью масс-рефлектрона с рабочим циклом 20 %.

### ОПИСАНИЕ СХЕМЫ КОНВЕРТЕРА

Для существенного повышения рабочего цикла ортогонального ускорителя в комбинации с МОП ВПМА предложено два новых решения: 1) ввод пучка поперек плоскости анализатора и 2) модуляция плотности ионного потока в радиочастотном ионопроводе перед подачей в анализатор. Для понимания сути этих мер рассмотрим упрощенную схему МОП ВПМА с ортогональным ускорителем (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема многоотражательного планарного времяпролетного масс-анализатора (МОП ВПМА) с ортогональным ускорителем и вводом ионного пучка поперек плоскости зигзагообразной ионной траектории. Схема дана в 2 проекциях: на пл. XZ (а) и на пл. XY (б)

В стандартном методе ортогонального ввода [21] непрерывный пучок ионов вводится вдоль оси  $Z$ . В этом случае необходимо ограничивать длину ионных пакетов вдоль оси  $Z$  размером порядка 2 мм из-за aberrаций второго порядка в линзах и первого порядка в системе поворота ионов на торцах анализатора. В результате рабочий цикл ортогонального ускорителя низкий и составляет менее 0.5%.

Предлагаемая здесь альтернативная схема поперечного ввода ионного пучка в МОП ВПМА основана на том, что толерантность анализатора к пространственному разбросу пучка существенно выше в вертикальном ( $Y$ ) направлении, чем в горизонтальном ( $Z$ ) направлении ионного дрейфа. Действительно, как показано в расчетах [3], времяпролетные aberrации по координате  $Y$  устранены до второго порядка включительно, и удается увеличить размер пучка до 6–8 мм (для анализатора длиной 600 мм), не нарушая разрешающую способность прибора на уровне 100 000.

Такое решение, однако, остается несовершенным, поскольку сохраняется компонента скорости пучка вдоль координаты  $Y$ , приводящая к отклонению ионных пакетов от плоскости  $XZ$ . Для решения этой проблемы нами предложена схема [23] с наклоном ускорителя и с последующим поворотом ионных пакетов (рис. 1, б). Входящий ионный пучок наклонен на угол  $\alpha$  по отношению к вертикальной оси  $Y$ . Энергия  $\epsilon_y$  постоянного пучка выбрана так, чтобы после ортогонального ускорения ионных пакетов с зарядом  $q$  в потенциале  $U_{acc}$  траектория была наклонена к оси  $X$  на угол  $\alpha$ . Это достигается при энергии ионов

$$\text{tg}^2(2\alpha) = \epsilon_y / qU_{acc}.$$

При таком соотношении углов временной фронт ионного пакета сначала наклонен на угол  $\alpha$  к оси  $Y$ , а после поворота фронт выравнивается и становится параллельным оси  $Y$ . Таким образом, наклон пучка и поворот взаимно компенсируют времяпролетные aberrации первого порядка по длине ионного пакета. Ионно-оптические расчеты подтверждают, что в результате такой процедуры временное уширение пакета ионов массы 1000 а.е.м. в системе поворота составляет менее 0.5 нс при длине ионного пакета 10 мм. Учитывая ограничения по aberrациям в анализаторе, длина пучка ограничена величиной порядка 6–8 мм, что позволяет повысить рабочий цикл анализатора в 3–4 раза по сравнению со стандартной схемой ввода. Из-за низкой частоты пульсаций в МОП ВПМА (1 кГц) рабочий цикл прибора все равно остается низким, порядка 2 %.

Попутно заметим, что схема поперечного ввода позволяет существенно сузить ширину пучка в  $Z$ -направлении дрейфа МОП ВПМА. Это, в свою очередь, позволяет сделать меньшим шаг в периодической линзе и увеличить длину ионной траектории в анализаторе. Если в [11] шаг линз составлял 15 мм, то в данном анализаторе шаг линз снижен до 10 мм. При использовании той же вакуумной камеры, что и в [11], удастся довести длину траектории до 20 м в камере того же размера (70 см длиной, 250 мм шириной и 100 мм высотой). Обе меры — снижение угла наклона траектории и увеличение длины пролета — положительно сказываются на разрешающей способности анализатора.

Для дальнейшего улучшения рабочего цикла ускорителя предложена схема модуляции ионной плотности в ионопроводе. Детали схемы отображены на рис. 2.

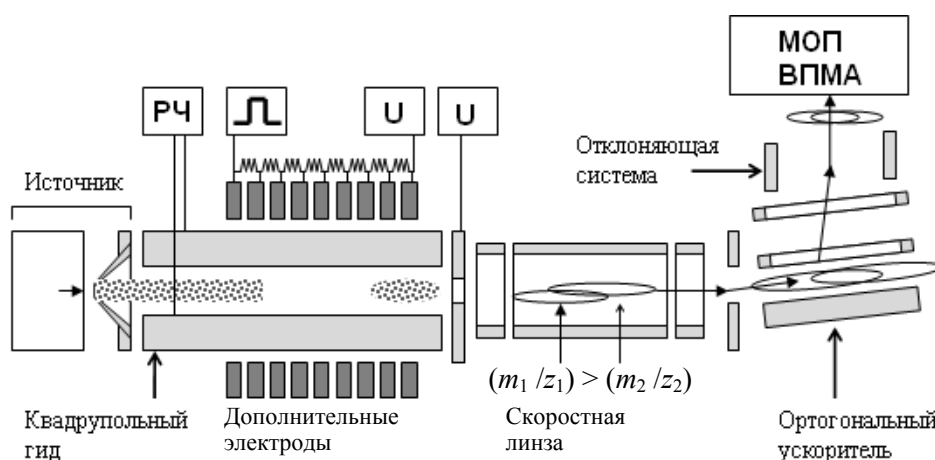


Рис. 2. Схема модуляции ионного пучка в ионопроводе

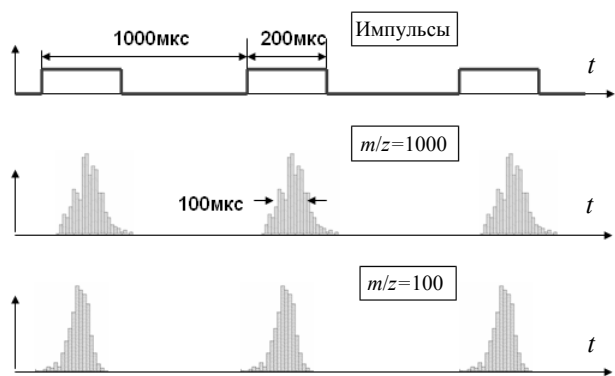


Рис. 3. Временные диаграммы модулированных ионных пакетов на выходе ионпровода

В предлагаемой схеме создается продольное электростатическое поле в ионпроводе, например, за счет провисания поля дополнительных электродов между стержнями радиочастотного квадруполь. Квадруполь заполнен газом до давления в несколько десятков мТорр. В промежутке между импульсами МОП ВПМА продольное поле выбирается слабым, и ионы всех масс медленно дрейфуют к выходу ионпровода. Как правило, напряженность продольного поля составляет около 0.1 В/см. Для сжатия ионного потока непосредственно перед импульсом выталкивания в ортогональном ускорителе продольное поле увеличивается до 1–2 В/см, и ионные облака выводятся из проводника за времена порядка 50–100 мкс. Несмотря на некоторое разделение при движении

в скоростной линзе пакеты ионов с разными отношениями  $m/z$  остаются перекрывающимися в зазоре ортогонального ускорителя, как показано эллипсами на рис. 2. Происходит временная компрессия потока, что приводит к повышению эффективности конверсии в ортогональном ускорителе в 10–20 раз.

Процессы компрессии рассчитывались в программе SIMION 3D с учетом эффекта одиночных газовых столкновений. Детали пакета описаны ранее в [20]. Расчетные временные профили ионного потока показаны на рис. 3. Как видно, для ионов с отношением  $m/z$  100 и 1000 а.е.м./ $e$  пакеты длительностью 50–100 мкс перекрываются во времени на выходе ионного проводника. Для того чтобы перекрытие оставалось и в ортогональном ускорителе, необходима быстрая доставка ионного пучка от квадруполь до ускорителя. Для этой цели используется ионная скоростная линза с ускорением до 1 кэВ и замедлением ионного пучка непосредственно на входе в ортогональный ускоритель. Практически достижимы времена доставки менее 10 мкс для ионов с отношением  $m/z = 1000$  а.е.м./ $e$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

В наших предыдущих работах было показано, что при замыкании ионной траектории в циклы по мере увеличения длины ионной траектории возрастает разрешающая способность анализатора. Таким образом, при использовании однопроходного режима с полным диапазоном масс разрешающая способность анализатора ограничена начальной временной шириной ионного пакета.

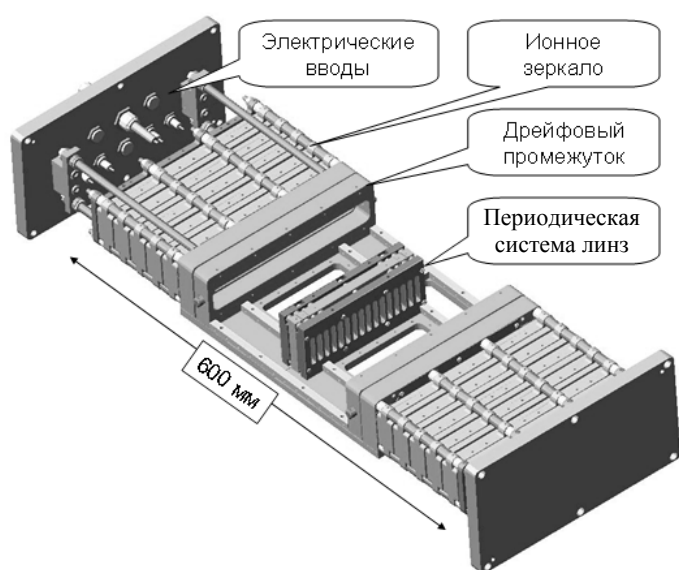
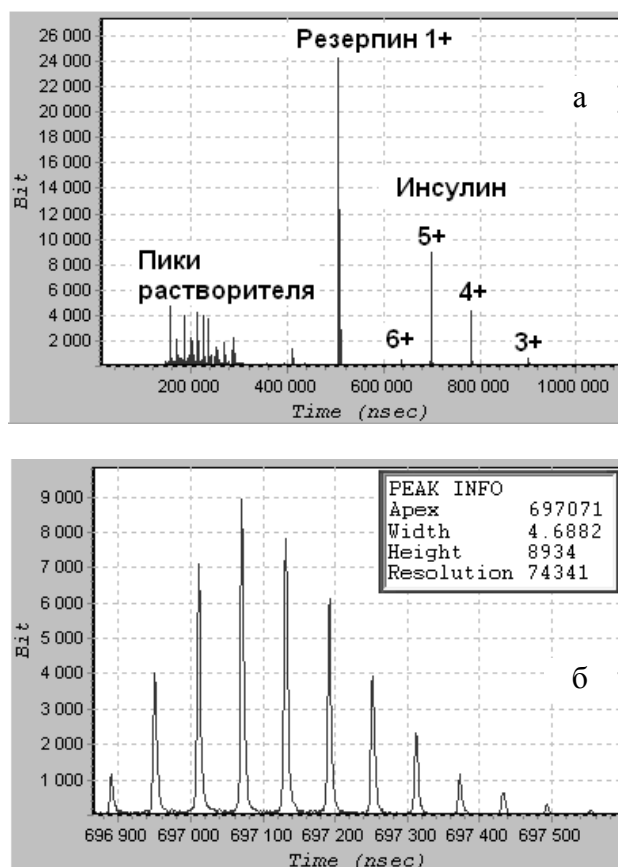


Рис. 4. Конструкторская сборка МОП ВПМА с длиной пролета 20 м и периодом шага линз 10 мм

В соответствии с теорией [9], разрешающая способность должна линейно возрастать с увеличением длины пролета и как корень ускоряющего напряжения. В данной работе мы экспериментально подтверждаем эту гипотезу. Нами был сконструирован прибор с длиной пролета 20 м и ускоряющим напряжением 4 кэВ (рис. 4), что превышает параметры ранее использованного анализатора [11] — 12 м и 2 кэВ соответственно. С увеличением ускоряющего напряжения удается уменьшить угловую и пространственную ширину ионного пакета. С использованием новой схемы ионного ввода поперек плоскости траектории удается упаковать большее количество оборотов и увеличить длину траектории до 20 м.

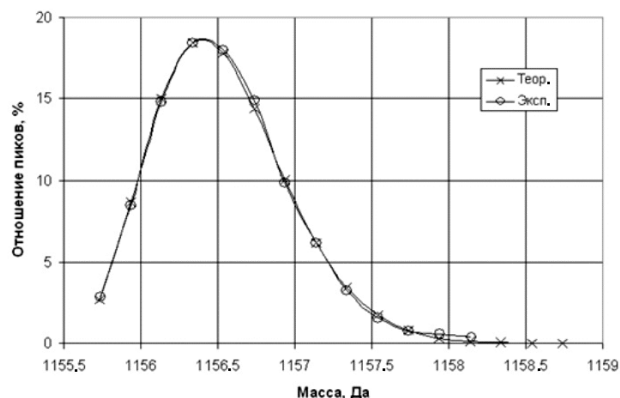
Как и ожидалось, увеличение длины пролета позволило увеличить разрешающую способность масс-спектрометра в однопроводном режиме с полным диапазоном масс. Как пример на рис. 5 приведен спектр инсулина. Часть (а) рисунка показывает панорамный обзор спектра и демонстрирует пики растворителя с отношением  $m/z$



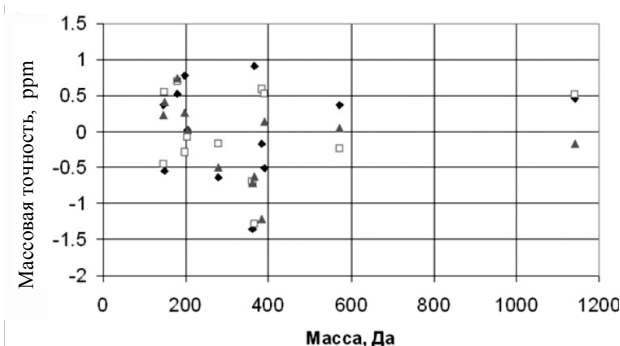
**Рис. 5.** Спектр смеси резерпина и инсулина. а — панорамный вид; б — группа изотопов 5+ пика инсулина

от 100 а.е.м./е, пик резерпина (609 а.е.м./е) и многозарядные пики инсулина (5733 а.е.м./е) с  $m/z$  до 1950 а.е.м./е. На части (б) рисунка представлена узкая часть того же спектра, показывающего изотопную группу 5+ пика инсулина. В отдельном окне указывается измеренная разрешающая способность, которая превышает 70 000 в режиме с полным массовым диапазоном. Следует обратить внимание на симметричную форму и отсутствие "хвостов" пиков. Распределение интенсивностей изотопов хорошо совпадает с теоретически ожидаемым (рис. 6). Хорошая форма пика и разрешение пиков с пиками химического фона позволяют достичь высокой массовой точности (рис. 7).

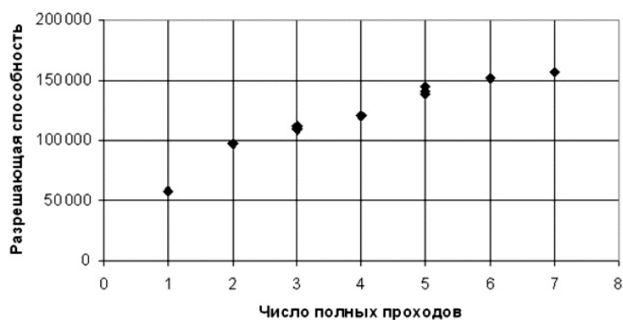
При переключении инструмента в многопроводный режим достигается разрешающая способность до 150 000, ограниченная абберациями анализатора и стабильностью источников высоковольтных напряжений (рис. 8). Таким образом, в принципе разрешающая способность может быть еще более повышена при дальнейшем увеличении



**Рис. 6.** Распределение интенсивности изотопной группы инсулина MH 5+



**Рис. 7.** Массовая точность на примере смеси грамицидина С и моносахарида. □ — грамицидин С; ▲ — моносахарид; ◆ — растворитель



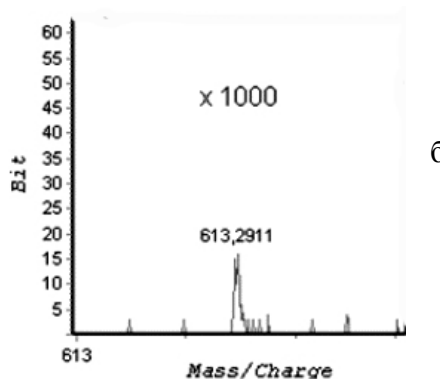
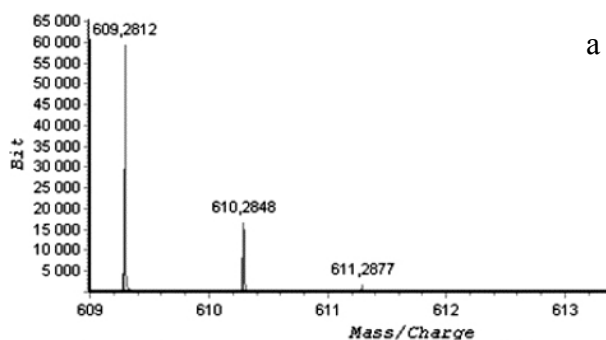
**Рис. 8.** Зависимость разрешающей способности анализатора от числа полных проходов

длины пролета и с увеличением ускоряющего напряжения.

Чувствительность прибора оценивалась при сравнении интенсивности сигналов в МОП ВПМА и в масс-рефлектроне с ортогональным ускорителем и однократным отражением. В масс-рефлектроне применяется ортогональный ускоритель с длиной пакетов не менее 30 мм, энергией ионов 30 эВ и частотой повторения 10 кГц. Для тестовых ионов массой 609 а.е.м. скорость пролета в ускорителе составляет 3 мм/мкс, и, следовательно, расчетный рабочий цикл в "стандартном" приборе составляет 10 %. Соответственно на максимально пропускаемом отношении массы к заряду  $m/z = 2500$  а.е.м./ $e$  рабочий цикл составляет 20 %. Такой рабочий цикл является типичным для большинства коммерческих ВПМС с ортогональным ускорителем.

Для сравнения чувствительности двух приборов применялась одна и та же система распыления одного и того же раствора резерпина концентрацией  $10^{-5}$  М в 50/50 % смеси воды и ацетонитрила. Прибор МОП ВПМА использовался как в режиме непрерывного ионного пучка, так и в режиме модуляции ионного потока в радиочастотном ионопроводе. Без модуляции в обоих приборах сигнал первого изотопа резерпина составлял порядка 20–30 ионов на выстрел (рис. 9, б). Для оценки применялся счетный режим регистрации в АЦП для минорных изотопов резерпина. С другой стороны, частота повторения импульсов в МОП ВПМА на порядок ниже — 1 кГц по сравнению с 10 кГц в стандартном ВПМС. Таким образом, полная чувствительность МОП ВПМА без модуляции на порядок ниже, чем в рефлектроне.

С применением модуляции чувствительность МОП ВПМА возрастает в 8–12 раз в зависимости от параметров модуляции [11]. Чувствительность прибора становится соизмеримой с чувствительностью "стандартного" ВПМС с рабочим циклом 20 %. При этом модуляция ионов в радиочастот-



**Рис. 9.** Динамический диапазон регистрируемого сигнала в спектре, записанном на протяжении 1 с, на примере группы изотопных пиков резерпина

ном ионопроводе приводит к некоторому сужению массового диапазона.

В обоих приборах число ионов резерпина на выстрел возрастает до 300. Для того чтобы избежать насыщения АЦП, необходимо снизить чувствительность детектора. При этом уже невозможен режим счета ионов в АЦП с разрешением 256 (8 бит). Требуется система регистрации с большим динамическим диапазоном. С применением одновременной записи в двух различных диапазонах амплитуд (см. рис. 9, а и б) достигается динамический диапазон до  $10^5$  в секунду, что превышает возможности альтернативных высокоразрешающих масс-спектрометров, таких как FTMS и Orbitrap.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена новая схема ввода ионного пучка в планарный многоотражательный времяпролетный масс-анализатор (МОП ВПМА). Ионы вводятся поперек плоскости ионной траектории в МОП ВПМА. Тем самым становится возможным 3–4-кратное увеличение длины ионного пакета. Кроме того, при таком вводе ширина пучка в на-

правлении дрейфа в анализаторе становится меньше, что делает возможным уменьшение периода фокусирующих линз и, следовательно, увеличение длины траектории ионов при сохранении физических размеров прибора.

Схема исследована экспериментально в сочетании с анализатором, в котором длина траектории увеличена до 20 м. Продемонстрирована разрешающая способность более 70 000 в сочетании с полным диапазоном масс и до 150 000 при сужении массового диапазона в так называемом "многопроходном" режиме.

С увеличением разрешающей способности уменьшается наложение химического фона на сигналы анализируемых компонент. Тем самым увеличивается точность определения масс. Типичный разброс в определении точной массы не превышает 1–2 ppm.

Предложен дополнительный метод повышения чувствительности многоотражательного ВПМС. Согласно этому методу, ионный поток модулируется за счет продольного электрического поля в радиочастотном ионопроводе, что позволяет достигать уровня чувствительности прибора, сравнимого с чувствительностью традиционных ВПМС с ортогональным ускорением и однократным отражением.

При использовании предложенных методов интенсивность ионных пакетов становится в большой степени ограниченной возможностями детектора и системы регистрации. Для получения высокого динамического диапазона необходима надежная регистрация одиночных ионов (счетный режим в АЦП). Сегодня 10–12 бит в сочетании с 1 нс разрешением представляются технологическим максимумом. Это ограничивает сигнал на уровне порядка 300 ионов в пике на выстрел.

При числе ионов на выстрел на один пик порядка 300 число ионов достигает  $3 \times 10^5$  в секунду. При этом максимально достижимый динамический диапазон принципиально может достигать  $10^5$ , что превышает соответствующие значения в современных приборах с высокой разрешающей способностью — FTMS и Orbitrap.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Verentchikov A., Yavor M., Mitchell J.C., Artaev V. Multireflecting time-of-flight mass spectrometer and a method of use. Patent GB2403063. 2003.
2. Verentchikov A.N., Hasin Yu.I., Yavor M.I. Multireflecting time-of-flight mass analyzer retaining full mass range // Extended abstract of 52<sup>nd</sup> ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics. 2004. (www.asms.org).
3. Явор М.И., Веренчиков А.Н. Планарный многоотражательный времяпролетный масс-анализатор, работающий без ограничения диапазона масс // Научное приборостроение. 2004. Т. 14, № 2. С. 38–45.
4. Веренчиков А.Н., Явор М.И. Устойчивость ионного движения в периодических электростатических полях // Научное приборостроение. 2004. Т. 14, № 2. С. 46–58.
5. Хасин Ю.И., Веренчиков А.Н., Гаврик М.А., Явор М.И. Первые экспериментальные исследования планарного многоотражательного ВПМС // Научное приборостроение. 2004. Т. 14, № 2. С. 59–71.
6. Веренчиков А.Н., Явор М.И., Хасин Ю.И., Гаврик М.А. Многоотражательный планарный времяпролетный масс-анализатор. I. Анализатор для параллельного тандемного анализа // ЖТФ. 2005. Т. 75, № 1. С. 74–83.
7. Веренчиков А.Н., Явор М.И., Хасин Ю.И., Гаврик М.А. Многоотражательный планарный времяпролетный масс-анализатор. II. Режим высокого разрешения // ЖТФ. 2005. Т. 75, № 1. С. 84–88.
8. Verentchikov A.N., Yavor M.I., Hasin Y.I., Gavrik M.A. Multi-reflecting TOF analyzer for high resolution MS and parallel MS-MS // Mass Spectrometry. 2005. V. 2. P. 11–20.
9. Хасин Ю.И., Веренчиков А.Н., Гаврик М.А., Явор М.И. Планарный времяпролетный анализатор в режиме многократных отражений и высокого разрешения // Научное приборостроение. 2005. Т. 15, № 2. С. 112–120.
10. Веренчиков А.Н. Концепция многоотражательного масс-спектрометра с непрерывным источником ионов // Научное приборостроение. 2006. Т. 16, № 3. С. 3–20.
11. Хасин Ю.И., Гаврик М.А., Явор М.И. и др. Планарный времяпролетный многоотражательный масс-спектрометр с ортогональным вводом из непрерывных источников ионов // Научное приборостроение. 2006. Т. 16, № 3. С. 30–39.
12. Веренчиков А.Н., Макаров В.В., Подольская Е.П. и др. Интерпретация масс-спектров ионизации воздуха при атмосферном давлении с высокой точностью измерения масс // Научное приборостроение. 2006. Т. 16, № 3. С. 88–102.
13. Verentchikov A.N., Hasin Yu.I., Gavrik M.A. et al. Multireflecting TOF MS with ESI ion source // Abstract of International Conference of Mass Spectrometry, Prague, 2006, August.
14. Kozlov B.N., Trufanov A., Muradumov M.Z., et al. Linear Ion Trap with Axial Ejection as a Source for a TOF MS // Abstract of extended Abstract on 53<sup>rd</sup> ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics. 2005. (www.asms.org).

15. *Веренчиков А.Н., Козлов Б.Н., Явор М.И. и др.* Газонаполненная линейная квадрупольная ловушка с аксиальным выбросом как источник для многоотражательного времяпролетного масс-спектрометра // Научное приборостроение. 2005. Т. 15, № 2. С. 95–111.
16. *Явор М.И., Никитина Д.В., Веренчиков А.Н., Козлов Б.Н.* Ионно-оптические свойства импульсного источника ионов на основе линейной газонаполненной квадрупольной ловушки // Научное приборостроение. 2005. Т. 15, № 4. С. 27–41.
17. *Козлов Б.Н., Труфанов А.С., Явор М.И. и др.* Многоотражательный времяпролетный масс-спектрометр с ионной ловушкой на входе // Научное приборостроение. 2006. Т. 16, № 3. С. 40–48.
18. *Козлов Б.Н., Хасин Ю.И., Кириллов С.Н. и др.* Экспериментальное исследование эффектов объемного заряда в многоотражательных времяпролетных масс-спектрометрах // Научное приборостроение. 2006. Т. 16, № 3. С. 49–58.
19. *Kozlov B.N., Galeev G., Gavrik M. et al.* Spcace Charge Effects in Multireflecting Time-of-Flight Mass Spectrometer // Abstract of extended Abstract on 54<sup>th</sup> ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics. 2006. (www.asms.org).
20. *Явор М.И., Никитина Д.В., Веренчиков А.Н. и др.* Расчет параметров ионного пучка, выходящего из газонаполненного радиочастотного квадрупольа // Научное приборостроение. 2005. Т. 15, № 3. С. 40–53.
21. *Додонов А.Ф., Чернушевич И.В., Додонова Т.Ф., Разников В.В., Тальрозе В.Л. А.С.* № 1681340A1, февраль 1987.
22. *Dresch T., Gulcicek E., Whitehouse C.M.* Ion storage time-of-flight mass spectrometer. Patent US 6020586, 1997.
23. *Kozlov B., Yashchuk V.* Time-of-flight mass spectrometer for investigations of laser ablation // Abstract on 47 ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics. 1999. Slot 073. (www.asms.org).

*Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург*

Материал поступил в редакцию 26.10.2006.

## UPGRADING SENSITIVITY AND MASS ACCURACY OF THE MULTIREFLECTING TIME-OF-FLIGHT MASS SPECTROMETER WITH A CONTINUOUS ION SOURCE

**Yu. I. Khasin, M. A. Gavrik, B. N. Kozlov, M. Z. Muradymov,  
M. I. Yavor, A. N. Verentchikov**

*Institute for Analytical Instrumentation RAS, Saint-Petersburg*

The paper presents a new type of the pulsed converter for ion introduction into a planar time-of-flight multireflecting mass analyzer. A resolution of over 70 000 in the full mass range, mass accuracy of ppm fractions and sensitivity close to that of the mass reflectron with a 20 % duty cycle are achieved.