

При изменении концентрации Al от 20 % до 40 % при напряжениях затвора 0 В, -1 В, -2 В, -3 В, -4 В и -5 В ток насыщения истока-стока увеличивается соответственно на 5,41 А/мм, 4,67 А/мм, 3,95 А/мм, 3,16 А/мм, 2,33 А/мм и 1,6 А/мм для толщины слоя GaN 100 нм. При изменении концентрации Al от 20 % до 40 % при напряжениях затвора 0 В, -1 В, -2 В, -3 В, -4 В и -5 В ток насыщения истока-стока увеличивается соответственно на 5,79 А/мм, 5,06 А/мм, 4,31 А/мм, 3,64 А/мм, 2,69 А/мм и 1,86 А/мм для толщины слоя GaN 160 нм. Как мы видим ток насыщения истока-стока несколько больше для толщины слоя GaN 160 нм, чем для 100 нм. Разница между значениями тока насыщения истока-стока при соседних значениях напряжений затвора возрастает при уменьшении отрицательного напряжения на затворе. Также эта разница возрастает при изменении концентрации Al от 20 % до 40 %. Эта разница немного больше для слоя GaN 160 нм. При большей разнице усилительные характеристики малосигнальных HEMT-транзисторов лучше.

Максимальное значение напряжения стока, при котором наступает насыщение, соответствуют напряжению затвора 0 В и концентрации Al в слое 40 % и для толщин слоя GaN 100 нм и 160 нм равно соответственно 15,6 В и 16,2 В. Минимальное значение напряжения стока, при котором наступает насыщение, соответствуют напряжению затвора -5 В и концентрации Al в слое 20 % и для

толщин слоя GaN 100 нм и 160 нм равно соответственно 0 В и 0 В. Напряжение стока, при котором наступает насыщение, возрастает при увеличении концентрации Al в слое при заданном напряжении затвора. Чем больше напряжение стока, при котором наступает насыщение, тем круче возрастает соответствующий участок кривой ВАХ. Это улучшает характеристики и повышает КПД мощных HEMT-транзисторов.

Авторы выражают благодарность Ворсину Н.Н. и Чугунову С.В. за помощь в подготовке статьи.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федоров, Ю.В. Исследования влияния толщины барьерного слоя гетероструктур $AlGaIn/AlN/GaN/Сапфир$ на параметры HEMT КВЧ диапазона / Ю.В. Федоров, Д.Л. Гнатюк, Р.Р. Галиев [и др.] – Твердотельная электроника, сложные функциональные блоки РЭА: сборник IX научно-технической конференция; 1–3 декабря – Звенигород, 2010.
2. Chabak, K. Processing Methods for Low Ohmic Contact Resistance in AlN/GaN MOSHEMTs – CS MANTECH: Conference, May18th-21st. – 2009.
3. C. Y. Chang, et al. Very Low Sheet Resistance AlN/GaN High Electron Mobility Transistors. – CSMANTECH: Conference, May18th-21st. – 2009.

Материал поступил в редакцию 17.12.2017

TARASUK N.P., LUTSENKO E.V., GLADYSHCHUK A.A. Volt-ampere characteristics of HEMT-transistors based on GaN

The results of calculations of the volt-ampere characteristics of HEMT-transistors based on GaN are presented. The volt-ampere characteristics of HEMT transistors have been compared for different thicknesses of GaN and different concentrations of Al.

УДК 681.3.06

Ворсин Н.Н., Гладыщук А.А., Кушнер Т.Л.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КСВУ-23

Введение. Оптическая спектроскопия занимает существенное место в арсенале инструментальных средств физических исследований [1–3]. Она обеспечивает хорошую чувствительность и селективность при решении задач обнаружения и оценки количества исследуемых веществ. На мировом рынке спектрально-аналитическую аппаратуру представляют множество компаний: Perkin Elmer, Bruker, Shimadzu, Nicolette, Jobin Yvon и др. Как правило, данная аппаратура функционирует под управлением ПК с ОС Windows, что позволяет воспользоваться огромным арсеналом программного обеспечения, созданного для этой ОС, и упрощает обмен, сохранение и обработку спектрометрической информации.

В последние годы отечественные спектрально – аналитические комплексы строятся по такому же принципу. Однако в исследовательских, производственных, учебных лабораториях имеется огромный парк старой спектрально – аналитической аппаратуры, которая не используется в силу того, что ее электронно-вычислительная часть морально устарела и несовместима с современной вычислительной техникой. В тоже время оптико-механические узлы данной аппаратуры не уступают современным зарубежным аналогам, а зачастую превосходят их.

Оснащение этих приборов современными устройствами ВТ для управления процессом измерения, обработки и сохранения получаемых данных позволит поднять их до уровня, удовлетворяющего современным требованиям к спектрально-аналитическим технологиям. Данная идея очевидна, и имеется множество работ, посвященных ее реализации, например, [4–6]. Однако предлагаемые там решения чрезмерно фундаментальны, сложны и, практически, недоступны для повторения.

Ниже описана модернизация спектрально-аналитического ком-

плекса КСВУ-23, минимизированная по финансовым и трудовым затратам, но решающая три основные задачи автоматизации спектрального эксперимента: управление сканирующим приводом, представление результатов в цифровом и графическом виде, сохранение информации в виде текстовых файлов. Связь комплекса с ПК осуществляется либо через порт USB шины, либо через Com-порт. Последнее сделано для возможности подключения ПК, находящегося на большом расстоянии от пульта управления (более 3 м).

Описание модернизации. С целью минимизации затрат все узлы комплекса, за исключением ЭВМ ДЗ-28 (или ДВК), сохраняются. На рисунке 1 приведена структурная схема модернизированного комплекса. Из нее видно, что доработке подвергся только усилительно - регистрационный блок.

Эта доработка заключается в том, что из него удаляются все узлы, обеспечивавшие связь блока с ЭВМ. Вместо них, на единственной оставшейся плате усилительного узла устанавливается небольшой модуль сопряжения, содержащий одну микросхему – микроконтроллер (МК) $pic18f2550$ и интегральный стабилизатор напряжения ее питания 7805L. Размеры данного модуля 54*64 мм. Он обеспечивает связь с ПК через USB или com-порт, управление шаговым двигателем (ШД) монохроматора, оцифровку и первичное накопление сигналов, поступающих от ФЭУ. Питание модуля осуществляется от имеющегося в блоке источника. Используемый МК содержит 10 - разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который оцифровывает усиленные сигналы обоих ФЭУ. Внешний вольтметр Щ1413, который прежде выполнял функцию АЦП, может быть исключен из состава комплекса или оставлен в роли визуального индикатора уровней аналоговых сигналов.

Электрическая схема модуля сопряжения показана на рисунке 2.

Ворсин Николай Николаевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры физики Брестского государственного технического университета.

Кушнер Татьяна Леонидовна, начальник отдела довузовской подготовки Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

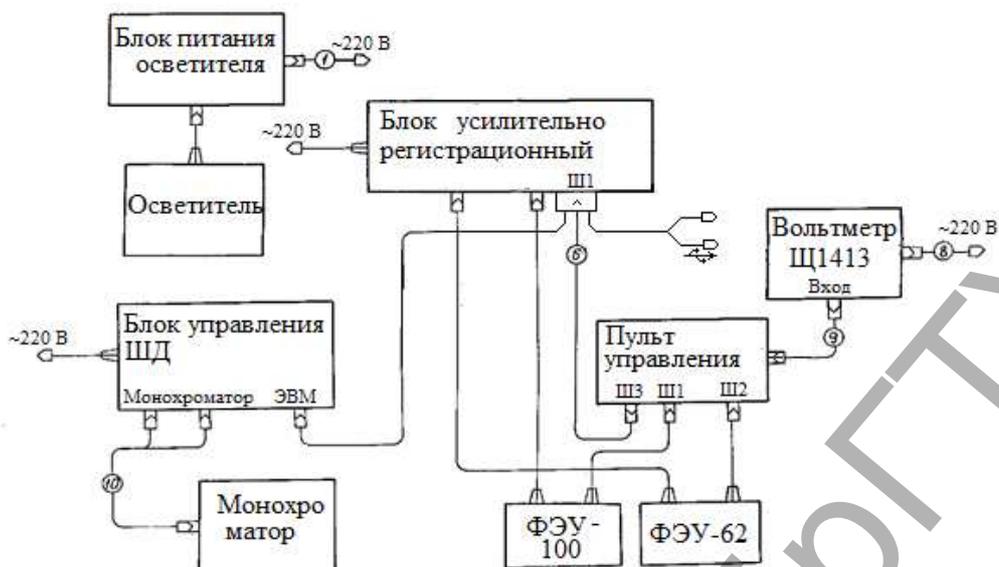


Рисунок 1

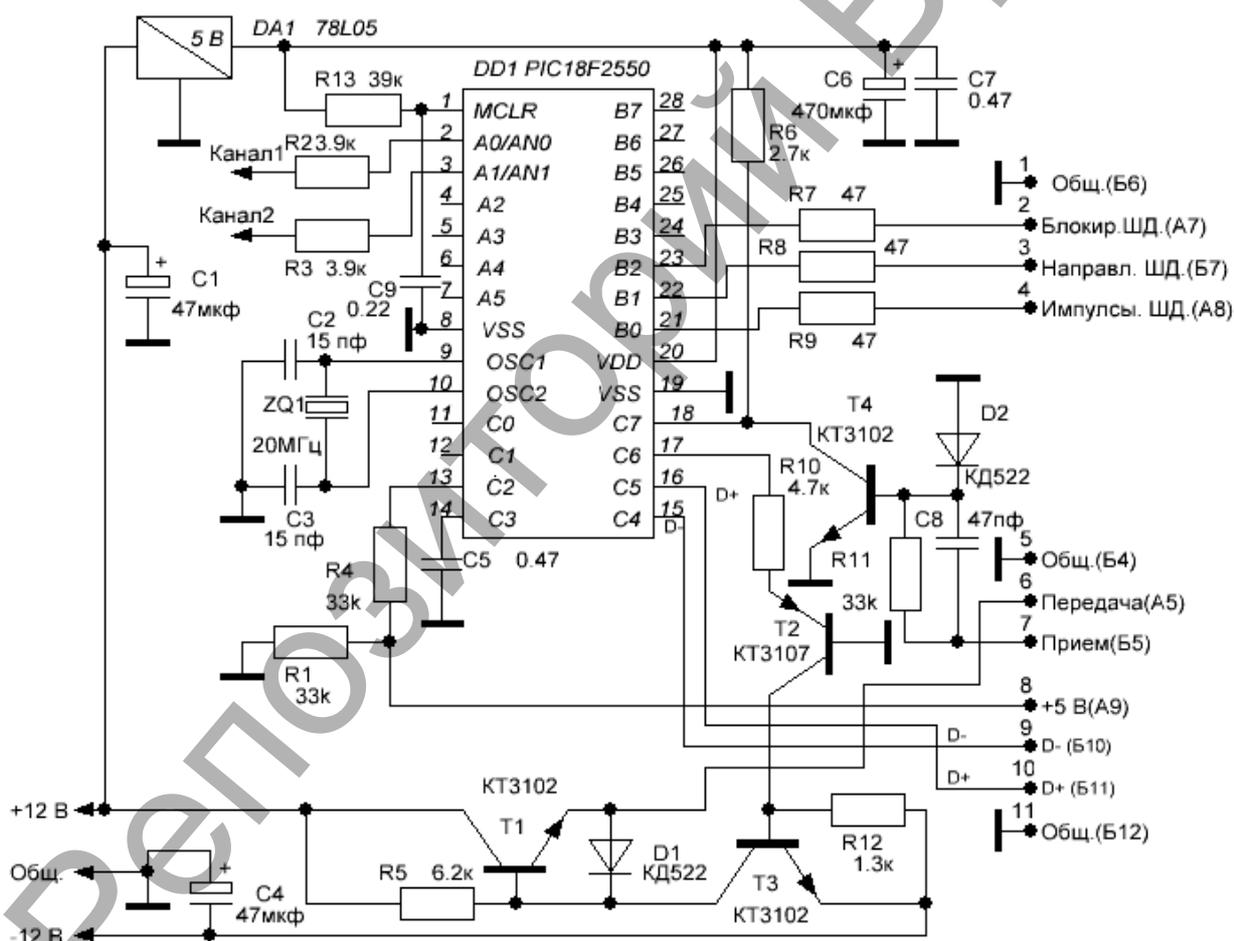


Рисунок 2

Он получается очень простым, поскольку большинство его качеств реализуется за счет программы в МК. Единственный аппаратный узел, помимо МК, – это согласователь логических уровней TTL и ком-порта, сделанный на транзисторах Т1–Т4. Если связь с ПК предполагается только через USB порт, то данный узел исключается из модуля сопряжения без потери им функциональности. Выходы усилителей сигналов ФЭУ подключаются к клеммам «канал 1», «канал 2». Внутренний АЦП микроконтроллера оцифровывает сигналы обо-

их каналов с периодом 160 мкс и осуществляет их первичную фильтрацию.

Соединение модуля с ПК и блоком управления ШД осуществляется через свободные контакты разъема Ш1 усилительно-регистрационного блока. На рисунке 2 номера контактов этого разъема указаны в скобках. В ответную часть разъема добавляются три кабеля, показанные на рисунке 3.

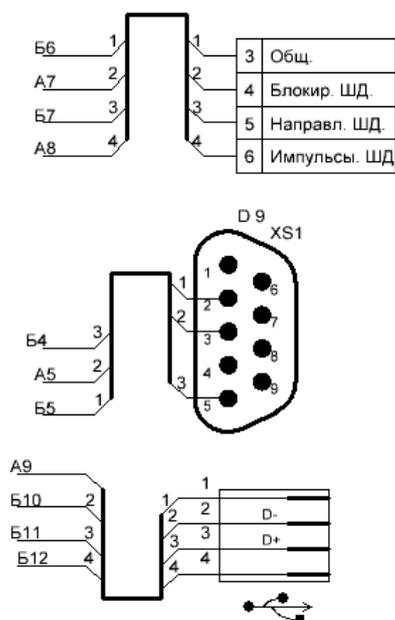


Рисунок 3

Условиями на кабель УСВ-2 его длина ограничена 5 м. Однако на практике не желательно иметь данный кабель длиной более 2 м. Поэтому при удалении ПК от усилительно-регистрационного блока на расстояние 2–3 м и более для связи между ними предпочтительнее использовать ком-порт.

Принцип работы модуля сопряжения с ПК состоит в следующем. Пока ПК не передаст команду поворота дифракционной решетки, микроконтроллер совершает бесконечный цикл, в ходе которого оцифровываются аналоговые сигналы первого и второго каналов и накапливаются в соответствующих ячейках памяти. Команда пово-

рота решетки, формируемая ПК, представляет собой двухбайтовый код, у которого старший – 15-й разряд определяет направление поворота, а остальные – число импульсов, которые модуль сопряжения должен выдать на блок управления шаговым двигателем монохроматора.

Получив команду, модуль сопряжения прерывает циклическую программу накопления сигналов и выполняет следующие действия: передает в ПК накопленные коды канальных сигналов – 6 байтов, разблокирует шаговый двигатель и формирует для него заданное число импульсов. Частота следования импульсов – 396 Гц. Если заданное в команде число импульсов равно нулю, разблокировка двигателя и поворота решетки не происходит. Такая команда используется для накопления отсчетов в одной спектральной точке. После поворота дифракционной решетки на заданное число импульсов микроконтроллер возвращается в цикл накопления сигналов от ФЭУ.

Если используется решетка, содержащая 1200 штрихов на мм, смещение дифракционного максимума по длине волны на 0.1 нм происходит при числе заданных в команде импульсов, равном 60. Минимальное разумное число импульсов, соответствующее повороту двигателя на один шаг – 4. Это соответствует смещению дифракционного максимума по длине волны на 0.0067 нм. Такая величина вполне приемлема, поскольку она вдвое меньше спектральной полосы пропускания монохроматора – 0.013 нм, при ширине щелей 10 мкм.

Расширение разрядной сетки АЦП. Главной претензией к предлагаемой модернизации является малая разрядность имеющегося в микроконтроллере АЦП – всего 10 разрядов. Данный АЦП содержит на входе устройство выборки и хранения (УВХ), которая фиксирует величину сигнала напряжения в момент поступления команды на преобразование. Оптимальное время преобразования – несколько десятков микросекунд. Шаг квантования, при использовании в качестве опорного напряжения питания МК – 5 В, равен 4.9 мВ.

На вход данного АЦП поступает сигнал от усилителя постоянного тока (УПТ), имеющего коэффициент усиления напряжения, равный 50. Усилитель построен на микросхемах 140УД8. Шумовые параметры данной микросхемы не нормируются, но осциллографирование шумового напряжения на выходе УПТ дает ширину «шумовой

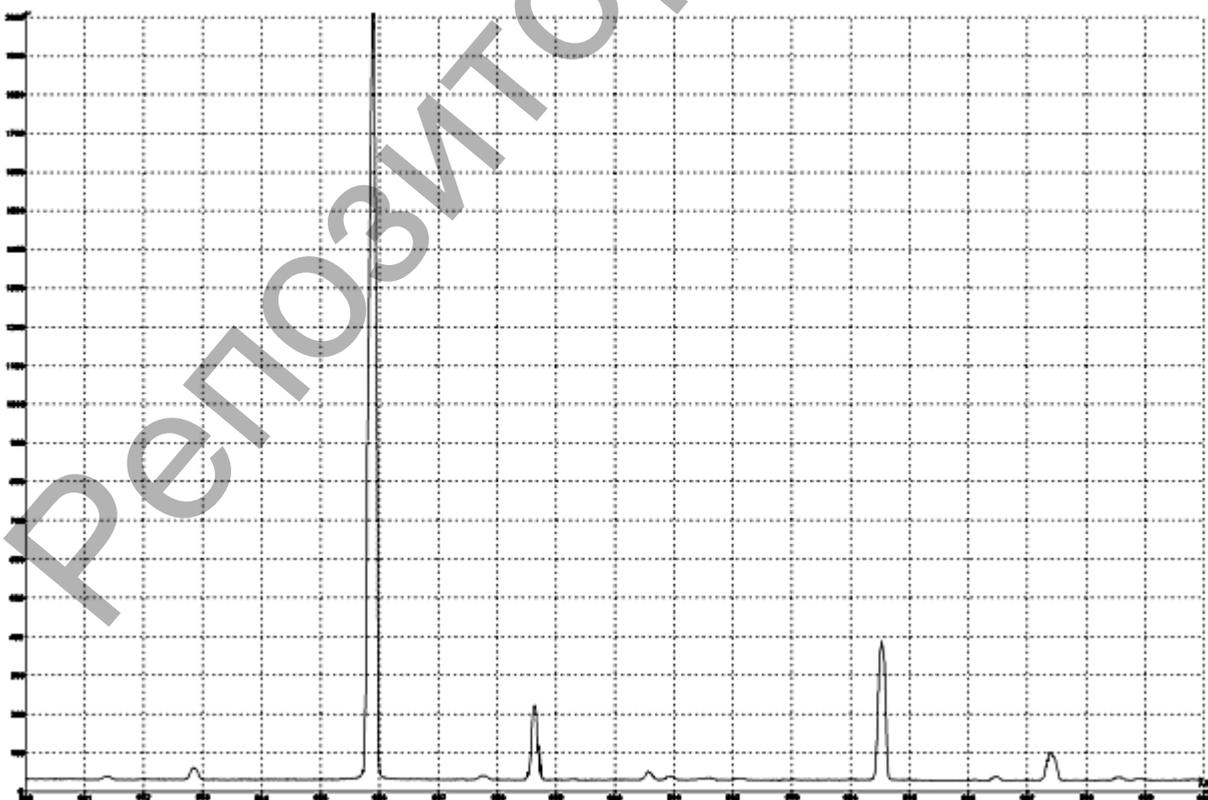


Рисунок 4

дорожки» приблизительно в 15 – 20 мВ, причем частотный диапазон, занимаемый шумом, приблизительно равен полосе пропускания УПТ и составляет ≈ 20 кГц. Данные параметры шума на входе АЦП распределяют его шум квантования в достаточно широкой полосе частот, определяемой частотой отсчетов. В результате имеется возможность улучшить разрешающую способность АЦП за счет т. н. сверхдискретизации, т. е. достаточно высокой частоты отсчетов, и последующего отфильтровывания большей части шумов квантования [7]. Спектрометрический сигнал в приборе с механическим сканированием изменяется очень медленно, верхняя частота его спектра составляет доли Герца. Поэтому АЦП микроконтроллера с большим запасом достаточен для сверхдискретизации, а последующий цифровой фильтр низких частот реализуется в программе для МК.

Как уже отмечалось, частота отсчетов спектрометрического сигнала равна 6.2 кГц. Она обеспечивает распределение шума квантования в частотной полосе около 3. 2 кГц. Последующее цифровое отфильтровывание высокочастотных спектральных составляющих заключается в скользящем суммировании 256 соседних отсчетов. При этом низкочастотные спектральные компоненты с частотами не выше 20 Гц, которые коррелированы в суммируемых отсчетах, увеличатся в 256 раз, а некоррелированные высокочастотные компоненты возрастут только в 16 раз. В результате отношение сигнал/шум квантования улучшается в 16 раз, а число разрядов накапливаемых отсчетов возрастает до 20 разрядов. Сформированные таким способом трехбайтные коды сигнальных отсчетов передаются в компьютер, который завершает процедуру фильтрации отбрасыванием 4 младших разрядов. Таким образом, разрешающая способность АЦП улучшается до 14 двоичных разрядов, что как минимум не уступает данному показателю прежнего АЦП на основе вольтмет-

ра ШЦ1413. Для иллюстрации разрешающей способности модернизированного комплекса на рисунке 4 приведена спектрограмма излучения неоновой лампы, записанная в диапазоне длин волн от 580 до 600 нм с шагом 0.0125 нм при ширине щелей 50 мкм.

Из спектрограммы видно, что комплекс без насыщения и заметных скачков квантования определяет форму и количественные параметры как сильных, так и слабых спектральных линий.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сильверштейн, Р. Спектрометрическая индикация органических соединений / Р. Сильверштейн, Г. Басслер, Т. Морил – Москва : Мир, 1977.
2. Beyerman, K. Organic Trace Analysis. – New York : Halsted Press, 1982.
3. Свердлова, О.В. Электронные спектры в органической химии. – Ленинград : Имия, 1985.
4. Большиков, Ф. А. Модернизация установки для регистрации спектров поглощения и люминесценции в области длин волн 0.2 – 2 мкм / Ф.А. Большиков, А.В. Малов, К.Н. Ницев, П.А. Рябочкина, С.Н. Ушаков // Приборы и техника эксперимента. – 2007. – № 5. – С. 160–162.
5. Некрасов, В.В. Электроника / В.В. Некрасов, Г.А. Шаулов, А.Ю. Ковалев // Наука, технология, бизнес. – 2002. – № 3. – С. 32–36.
6. Герман, А.Е. Универсальный программируемый контроллер спектральных комплексов / А.Е. Герман, Г.А. Гачко, Г.А. Панютин // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. – Серыя 2. – 2000. – № 2. – С. 84–90.
7. Ричард, Лайонс. Цифровая обработка сигналов. – Бином-Пресс, 2006. – 656 с.

Материал поступил в редакцию 12.05.2017

VORSIN N.N., GLADYSHCHUK A.A., KOUCHNER T.L. Modernization of the spectral KSVU-23 complex

The architecture of upgrade of the universal spectral KSVU-23 computer system differing from known for extremely small expenses and simplicity of repetition is offered. The software of the upgraded complex is available to the free downloading on the website of department of physics of BSTU.

УДК 512.542

Артюшеня Т.А., Трофимук А.А.

КОНЕЧНЫЕ ГРУППЫ, ОБЛАДАЮЩИЕ НОРМАЛЬНЫМ РЯДОМ, ФАКТОРЫ КОТОРОГО ИМЕЮТ ПОРЯДКИ, СВОБОДНЫЕ ОТ ЧЕТВЕРТЫХ СТЕПЕНЕЙ

Введение. Рассматриваются только конечные группы. Используемые обозначения и определения соответствуют [1]. Пусть n и m – натуральные числа. Говорят, что n свободно от m -х степеней, если p^m не делит n для всех простых p . При $m = 2$ говорят, что n свободно от квадратов, при $m = 3$ – от кубов, а при $m = 4$ – от четвертых степеней.

Нормальным рядом группы G называется цепочка подгрупп

$$1 = G_0 \subseteq G_1 \subseteq \dots \subseteq G_m = G, \quad (1)$$

в которой подгруппа G_i нормальна в группе G для всех i . Фактор-группы G_{i+1}/G_i называются факторами нормального ряда (1).

Если порядок группы G свободен от квадратов, то в группе G существует циклическая холлова подгруппа N такая, что G/N циклическая [2, теорема IV.2.11]. В частности, производная длина G не превосходит 2.

В работе [3] были исследованы разрешимые группы, обладаю-

щие нормальным рядом, факторы которого имеют порядки, свободные от кубов. В частности, нильпотентная длина группы G не превышает 4, а производная длина группы $G/\Phi(G)$ не превышает 5. Аналогичные результаты получены для A_4 -свободной группы. Доказана следующая теорема.

Теорема. Пусть разрешимая группа G обладает нормальным рядом, факторы которого имеют порядки, свободные от четвертых степеней. Тогда нильпотентная длина группы G не превышает 4, а производная длина фактор-группы $G/\Phi(G)$ не превышает 6, $l_2(G) \leq 2$, $l_3(G) \leq 2$, $l_p(G) \leq 1$ для $p > 3$.

Следствие. Пусть G – A_4 -свободная разрешимая группа, которая обладает нормальным рядом, факторы которого имеют порядки, свободные от четвертых степеней. Тогда производная длина фактор-группы $G/\Phi(G)$ не превышает 5, $l_p(G) \leq 1$ для $p \neq 3$.

Артюшеня Татьяна Александровна, ассистент кафедры высшей математики Брестского государственного технического университета, e-mail: 887766t@gmail.com.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Трофимук Александр Александрович, к.физ.-мат.н., доцент кафедры алгебры, геометрии и математического моделирования Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, e-mail: Alexander.trofimuk@gmail.com.

Беларусь, БрГУ им. А.С. Пушкина, 224016, бульвар Космонавтов, 21.