

## Заключение

Бурное развитие получили оптико-электронные средства, работающие в ИК-спектре длин волн, а именно тепловизионные приборы, работающие в диапазоне 3—5 и 8—14 мкм. Номенклатура этих приборов очень широка — от наблюдательных приборов до прицельных комплексов. Принятие на вооружения тепловизионных средств во многих странах имеет массовый характер, поэтому очевидна проблема обнаружения и подавления тепловизионных средств наряду с дневными и ночными средствами.

ФГУП «ЦКБ "Точприбор"» были проведены эксперименты по обнаружению и подавлению тепловизионных средств в диапазоне 8—14 мкм, в результате которых были получены положитель-

ные результаты. Хотя на сегодняшний день и ощущается некоторое отставание отечественной оптико-электронной промышленности от западной, но все еще существуют направления и области разработок, в которых мы конкурентоспособны, лидируем и имеем большой потенциал к дальнейшему развитию при наличии достаточного финансирования.

## Литература

1. Солдатенков В. Состояние и перспективы техники ночного видения// Военный парад. 2005. № 4(23).
2. Чебуркин Н. Найти, чтобы обезвредить// Там же.
3. Оптико-электронные системы и лазерная техника: Энциклопедия XXI век. Том 4. — М.: издательский дом "Оружие и технологии", 2005.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

## Possibility of detection and suppression of optoelectronic devices

G. N. Popov, P. G. Golubev, N. N. Mordvin  
Tochpribor Central Design Office, Moscow, Russia

S. D. Pitik  
GRAU, Moscow, Russia

*Account is taken of the systems for detection and suppression of optoelectronic devices, which have been worked out by Tochpribor Central Design Office. Consideration is made to perspective directions of development for these systems.*

УДК 621.384.3

## Метод автоматизированной проверки минимальной разрешаемой разности температур, обеспечиваемой тепловизионным прибором

А. А. Солодков, С. С. Милосердов  
Федеральное государственное унитарное предприятие  
"22 ЦНИИ МО РФ", Мытищи, Московская обл., Россия

*Приведены результаты отработки метода, позволяющего в автоматизированном режиме, т. е. без участия наблюдателя-оператора в принятии решений о распознавании штриховых мишени разной пространственной частоты и контраста, определять обеспечиваемую тепловизионным прибором (ТВП) минимально разрешаемую разность температур (МРРТ).*

Одна из важнейших характеристик ТВП — зависимость минимально разрешаемой оператора-

ми-наблюдателями разности температур между элементами специализированных (периодических)

тест-объектов (тепловых мир) от пространственной частоты этих тест-объектов при наблюдении их изображений на экране видеомодуля. Данная характеристика является вероятностной, так как предполагает использование зрительного анализатора операторов-наблюдателей.

Операторный метод — традиционный, типовой и наиболее универсальный для оценки МРРТ, однако он является затратным по ресурсам и объемом по времени и количеству требуемых психофизиологических экспериментов с операторами-наблюдателями, что ограничивает его применение для получения в необходимых случаях оперативных оценок с требуемой степенью достоверности.

Частично проблема затратности может быть решена путем использования математических моделей, позволяющих определить искомую вероятностную характеристику по частным показателям, которые могут быть определены с помощью инструментальных измерений. Однако и данный инст-

рументально-аналитический метод имеет свои ограничения, так как изменение условий, при которых получена модель, требует в свою очередь подтверждения ее адекватности реальным процессам путем проведения все тех же объемных и затратных психофизиологических экспериментов с операторами-наблюдателями.

Проблема снижения затратности метода при сохранении точности получаемых результатов может быть решена путем разработки инструментальных методов оценивания. Предлагаемый инструментальный метод определения МРРТ основывается на статистическом оценивании последовательности видеоизображений тест-объекта с помощью алгоритма, обеспечивающего минимум среднеквадратического риска (иначе определяется как алгоритм оптимального линейного приемника Зигерта-Котельникова – ОЛПЗК [1]).

На рис. 1 представлена схема, отображающая упомянутые выше методы.

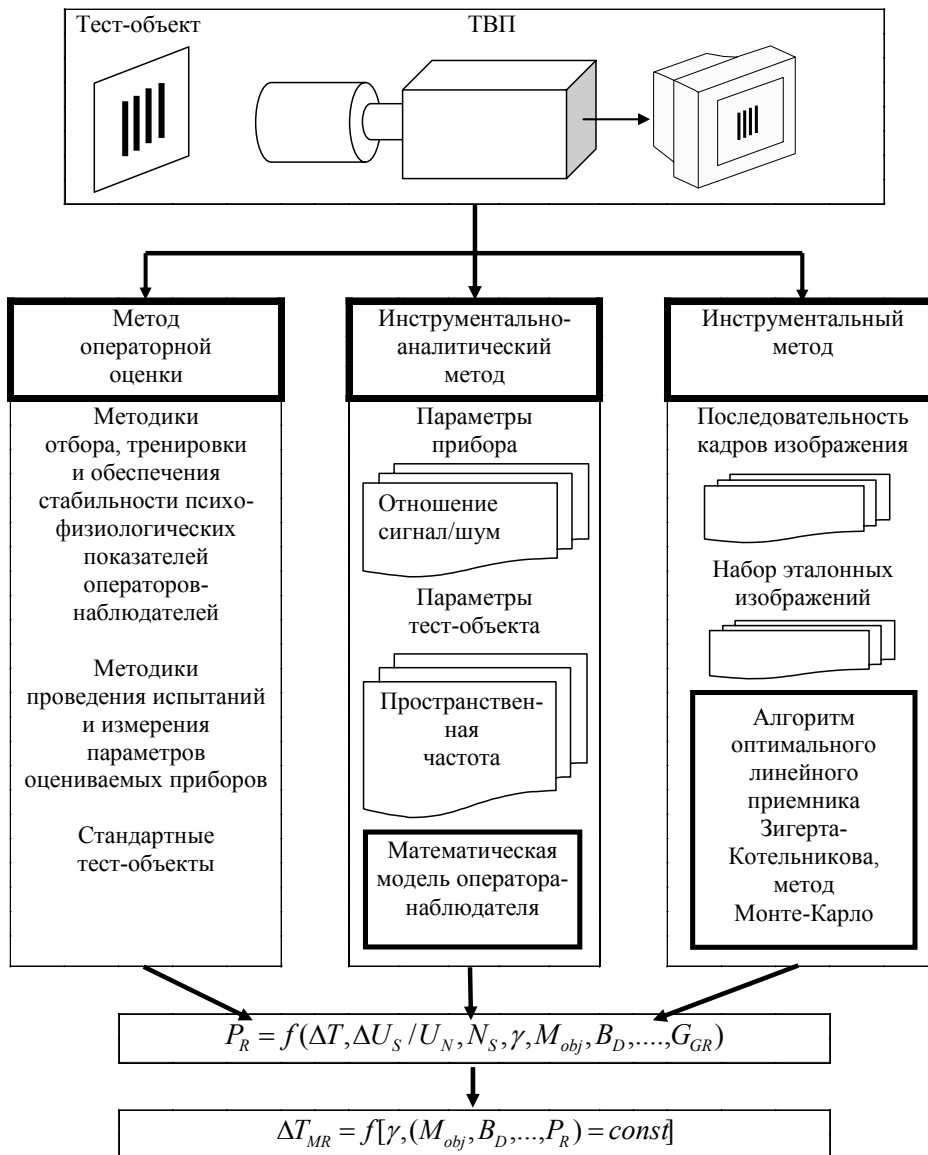


Рис. 1. Схема методов оценки МРРТ ТВП:

$P_R$  — вероятность распознавания тест-объекта;  $\Delta T$  — значение температуры между элементами тест-объекта;  $\Delta U_S$  — напряжение полезного сигнала от контрастных элементов тест-объекта;  $U_N$  — напряжение шумового сигнала;  $\gamma$  — пространственная частота элементов тест-объекта;  $M_{obj}$  — набор объектов в алфавите;  $B_D$  — яркость свечения экрана видеомодуля;  $G_{GR}$  — число градаций яркости, отображаемых на экране видеомодуля;  $\Delta T_{MR}$  — минимально разрешаемая разность температур

В качестве теоретической базы для создания метода автоматизированного определения МРРТ ТВП могут рассматриваться результаты исследований Н. Н. Красильникова, полученные в 1950—1980-х гг. в рамках работ по созданию общей статистической теории восприятия изображений, одним из элементов которой является алгоритм ОЛПЗК.

Возможности алгоритма ОЛПЗК обеспечивают чувствительность к изменениям основных параметров видеоизображения, учитываемых при проведении психофизиологических экспериментов с операторами-наблюдателями (контрастность изображений, уровень шумов в изображениях, размеры тест-объектов, состав их алфавита, частотные искажения и т. д.). В 1980—1990-х гг. проводились отдельные исследования по развитию данной теории [2, 3], однако возможность создания инструментального метода автоматизированного определения МРРТ ТВП в эти годы сдерживалась

отсутствием высокопроизводительной вычислительной техники и аналого-цифровых преобразователей видеосигнала, обеспечивающих обработку видеoinформации в требуемом темпе.

Практическая реализация алгоритма ОЛПЗК предполагает выполнение на базе ПЭВМ-анализа последовательности отдельных кадров видеоизображения заданного тест-объекта, формируемого оцениваемым ТВП, и принятие с определенным уровнем вероятности решения о его распознавании, т. е. о совпадении с собственным эталонным изображением при переборе всего набора эталонных видеоизображений, составляющих алфавит. Анализ последовательности большого количества видеоизображений тест-объекта при наличии гауссовых шумов обеспечивает, по сути, реализацию метода статистических испытаний Монте-Карло, так как в каждом отдельном кадре такой последовательности видеоизображений картина шумов изменяется случайным образом.

В общем виде правило принятия решения, реализуемое ОЛПЗК, определяется неравенством [1]

$$\sum_{i=1}^m (A_{iv} - A_{io})^2 < \sum_{i=1}^m (A_{iv} - A_{ik})^2,$$

где  $A_{iv}$  — интенсивность сигнала от элемента анализируемого изображения тест-объекта, формируемого оцениваемым формирователем изображения;

$A_{io}$  — интенсивность сигнала от элемента собственного эталонного изображения анализируемого тест-объекта;

$A_{ik}$  — интенсивность сигнала от элемента изображения эталонного тест-объекта, входящего в состав алфавита однотипных эталонных тест-объектов, но не являющегося собственным эталоном;

$i$  — порядковый номер элемента изображения тест-объекта, анализируемого с

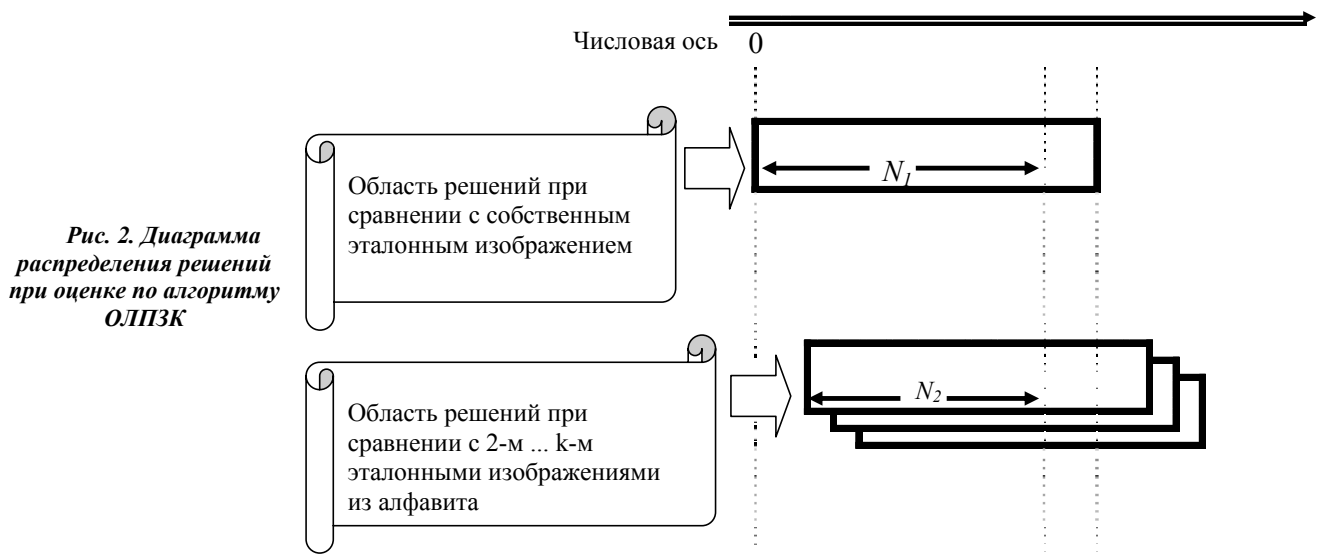
использованием алгоритма ОЛПЗК;

$m$  — общее число элементов изображения тест-объекта, анализируемых с использованием алгоритма ОЛПЗК.

Следует отметить, что для получения оценки по вышеприведенному соотношению требуется выполнение ряда условий, в частности, должно быть обеспечено:

- равенство энергий эталонных тест-объектов, входящих в состав алфавита;
- наилучшее совмещение анализируемого изображения тест-объекта с эталонными изображениями всех тест-объектов, входящих в состав алфавита.

Получаемые в соответствии с вышеприведенным неравенством решения (значения критериев подобия) в графическом виде иллюстрируются диаграммой, представленной на рис. 2.



Значение вероятности распознавания заданного тест-объекта при использовании алгоритма ОЛПЗК определяется соотношением

$$P_R = N_1(N_1 + \sum_{j=2}^{k-1} N_j)^{-1},$$

где  $N_1$  — число положительных решений в пользу заданного тест-объекта при сравнении с собственным эталонным изображением;

$N_j$  — число положительных решений (ошибочных) в пользу заданного тест-объекта при сравнении с каждым однотипным эталонным изображением из состава алфа-

вита, исключая собственное эталонное изображение;

$j$  — порядковый номер эталонного изображения в алфавите ( $j \neq 1$ );

$k$  — общее число эталонных изображений в алфавите.

Для моделирования работы алгоритма ОЛПЗК на базе ПЭВМ была разработана специализированная программа. Интерфейсная панель данной программы, обеспечивающая задание всех необходимых исходных данных, представлена на рис. 3. Результаты расчетов записываются в файлы. Полученные в результате расчетов графические зависимости иллюстрируют рис. 4 и 5.

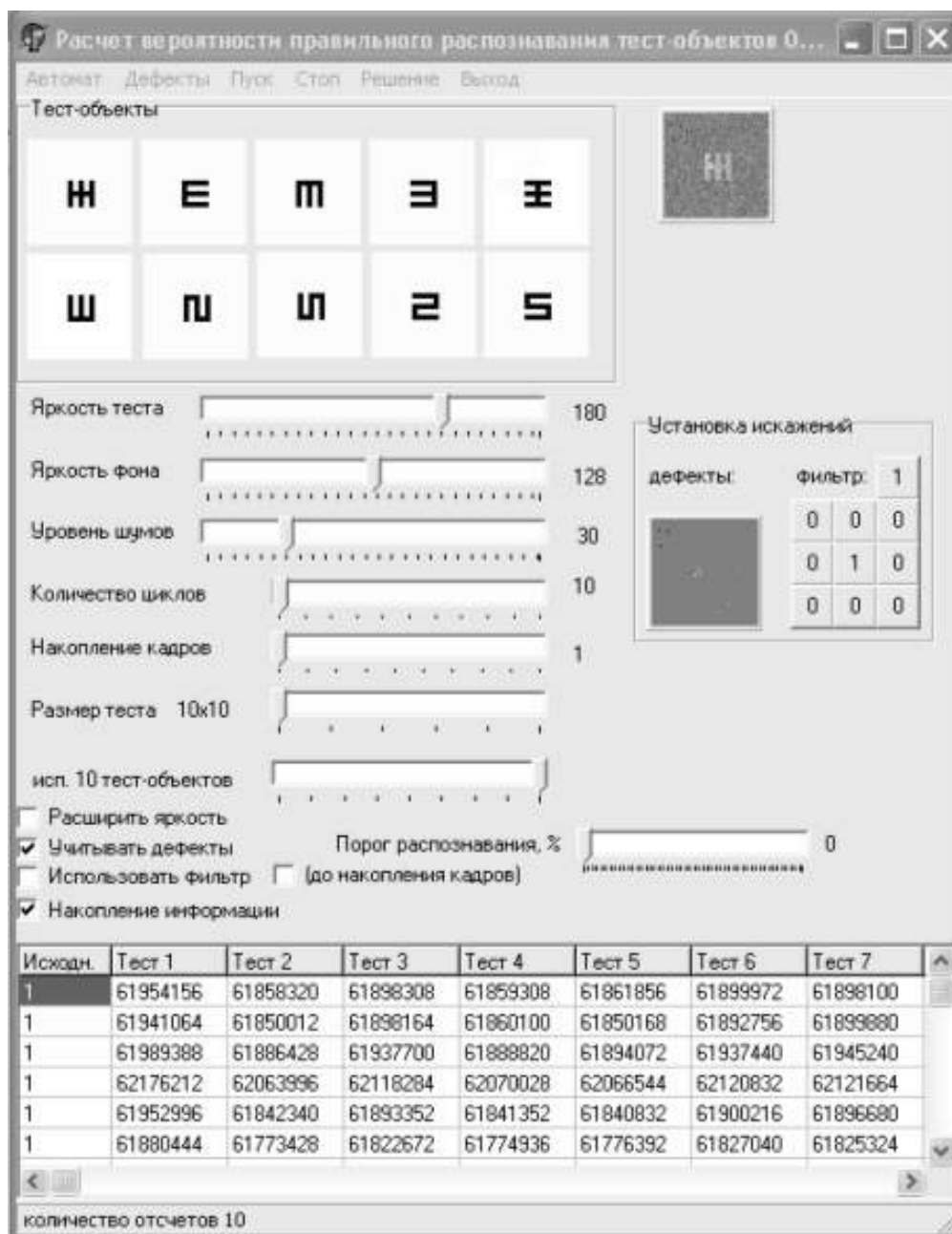


Рис. 3. Интерфейсная панель программы моделирования алгоритма оптимального линейного приемника Зигерта-Котельникова

Рис. 4. Зависимость вероятности распознавания тест-объектов различной пространственной частоты от разности температур его элементов

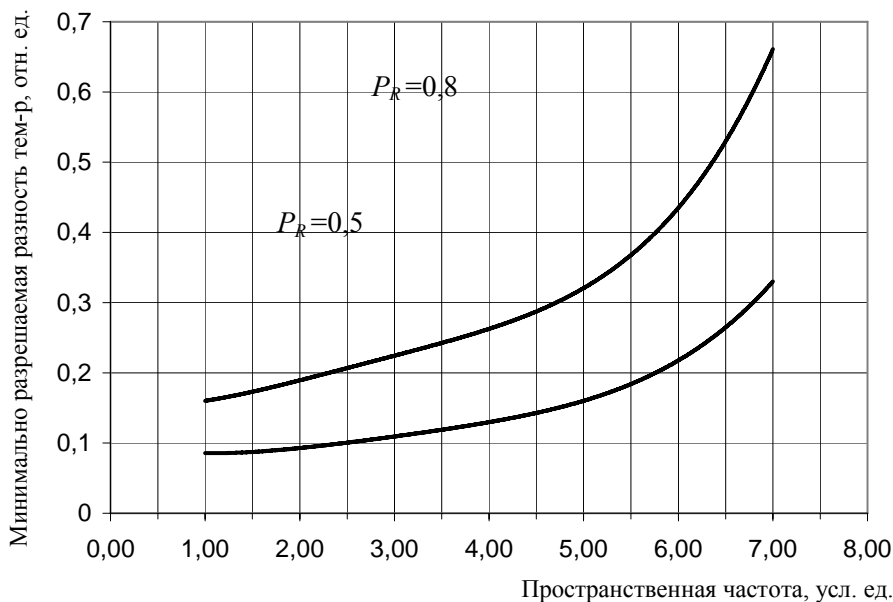
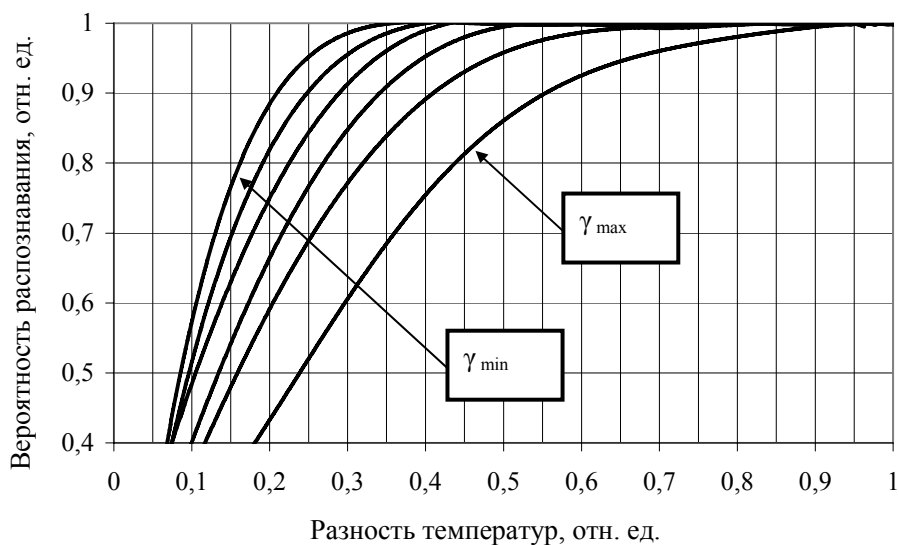


Рис. 5. Зависимость МРРТ от пространственной частоты тест-объектов

## Выводы

1. Разработана специализированная компьютерная программа, с помощью которой моделируется процедура принятия решений о распознавании специализированных тест-объектов в соответствии с аналитическими выражениями и условиями, определяющими правила функционирования алгоритма оптимального линейного приемника Зигерта-Котельникова.

2. Предложены варианты специализированных тест-объектов, обеспечивающих соблюдение условий постановки вероятностного эксперимента и обладающих свойствами, использование которых обеспечивает инвариантность получаемых при математическом моделировании результатов и из-

вестных результатов, получавшихся при использовании стандартных (операторных) методов.

3. Путем проведения расчетов подтверждена практическая реализуемость инструментальной автоматизированной процедуры определения МРРТ ТВП без привлечения операторов-наблюдателей, но с выдачей решения, адекватного операторной оценке.

## Литература

1. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений. – М.: Радио и связь, 1986. — 248 с.
2. Романов С. С., Васьяковский А. А. Визуальное восприятие цифровой информации. — М.: МЭИ, 1983. — 80 с.
3. Воронин Ю. М., Павлов Н. И. Вероятность распознавания объектов на экране монитора опико-электронной системы наблюдения// Оптический журнал. 1994. № 7. С. 7—11.

## Method of automatized testing a minimum resolvable temperature difference to be provided with a thermal-imaging device

A. A. Solodkov, S. S. Miloserdov

The 22-nd Research Institute, Mytichshi, Moscow Region, Russia

*Account is taken of labour-rent for the automatized method permitting to determine a minimum resolvable temperature difference to be provided with a thermal-imaging device.*

УДК 621.315.592

## Структура и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Pb_{1-x}Mn_xSe$

И. Р. Нуриев, М. Б. Гаджиев, Р. М. Садыгов, А. М. Назаров

Институт физики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

*Исследованы особенности роста, структура и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  ( $x = 0,02—0,04$ ), выращенных на подложках  $BaF_2$  (111) методом конденсации молекулярных пучков в вакууме  $10^{-4}$  Па. Показано, что полученные пленки обладают высокой fotocувствительностью при температуре 77 К, спектральные характеристики которых варьируются посредством изменения  $x$ . Смещение максимума спектральной fotocувствительности в сторону более коротких волн с ростом  $x$  объясняется сильным возрастанием ширины запрещенной зоны твердых растворов  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  с увеличением содержания марганца.*

Полумагнитные твердые растворы халькогенидов свинца, в которых атомы свинца частично замещены атомами переходного элемента — марганца, с некомпенсированным магнитным моментом являются предметом интенсивных экспериментальных и теоретических исследований [1—12]. В результате введения ионов марганца в решетку соединений халькогенидов свинца и образования твердого раствора незначительно уменьшается параметр решетки, сильно возрастает ширина запрещенной зоны [2, 8]. При этом в магнитном поле необычно изменяется энергетический спектр носителей заряда, благодаря чему создается возможность управления свойствами структур на их основе с помощью магнитного поля и температуры.

Из литературных данных видно, что более широко исследованы полумагнитные твердые растворы  $Pb_{1-x}Mn_xTe$ . Получены и исследованы их массивные монокристаллы и эпитаксиальные пленки. Однако твердые растворы  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  изучены сравнительно мало. Полумагнитные твердые растворы  $Pb_{1-x}Mn_xSe$ , как и их аналоги  $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ,

представляют научно-практический интерес и являются перспективными материалами для инфракрасной (ИК) техники.

Следует отметить, что для практического применения большой перспективой обладают эпитаксиальные пленки. Для создания различных приборов ИК-техники, многоэлементных матриц на основе полупроводниковых пленок и их успешного применения в современной оптоэлектронике требуются пленки со стабильными свойствами. В связи с этим необходимы установление закономерностей роста и разработка технологии получения совершенных эпитаксиальных пленок с заданными структурными, электрофизическими и фотоэлектрическими параметрами.

В настоящей работе представлены результаты исследования особенностей роста, структуры и фотоэлектрических свойств эпитаксиальных пленок  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  ( $x = 0,02—0,04$ ), выращенных методом конденсации молекулярных пучков в вакууме  $10^{-4}$  Па. Подложками служили свежие естественные сколы мо