

## ПОЛЕВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВОЙ ВАЛИДАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

*Владимир Донец<sup>1</sup>, Светлана Кочубей<sup>2</sup>, Виталий Яценко<sup>3</sup>, Александр Броварець<sup>4</sup>,  
Тарас Казанцев<sup>2</sup>, Вадим Бровченко<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Корпорация НПО «Арсенал»*

*Украина, г. Киев, ул. Московская, 8*

*<sup>2</sup>Институт физиологии растений и генетики*

*Украина, г. Киев, ул. Васильковская, 31/17*

*<sup>3</sup>Институт космических исследований*

*Украина, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 40*

*<sup>4</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

*Украина, г. Киев, ул. Героев Оборонь, 15*

*Vladimir Donets<sup>1</sup>, Svetlana Cochoubey<sup>2</sup>, Vitaliy Yatsenco<sup>3</sup>, Alecsandr Brovarets<sup>4</sup>,  
Taras Cazantsev<sup>2</sup>, Vadim Brovchenco<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Corporation SPO «Arsenal»*

*Str. Moskovskaya, 8, Kiev, Ukraine*

*<sup>2</sup>Institute Physiology Plants and Geneticists*

*Str. Vasylykivska, 31/17, Kiev, Ukraine*

*<sup>3</sup>Institute Spices of Investigation*

*Avenue Glushkov, 40, Kiev, Ukraine*

*<sup>4</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

**Аннотация.** Рассмотрены особенности конструкции созданного полевого спектрального аппаратно-программного комплекса для подспутниковой валидации дистанционного исследования растительности.

**Ключевые слова:** спектрометрический комплекс, дистанционное зондирование, подспутниковая валидация.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время широкое применение получили системы дистанционного мониторинга поверхности Земли, в частности, для исследования состояния растительности, определения ее стрессового состояния, прогноза урожайности и др. Измерения спектров отражения, используя оптические приборы, является быстрой и эффективной процедурой анализа по сравнению с лабораторными биохимическими методами и позволяет проводить тестирование больших площадей за короткое время [1-6].

В этом направлении традиционным подходом является использование спектральных коэффициентов яркости растительного покрова, на основе которых ранее были пред-

ложены разнообразные вегетационные индексы [2]. При этом большое внимание было уделено определению концентрации хлорофилла – важного физиологического показателя, присутствие которого обеспечивает основной вклад в формировании спектра отражения в листьях растений в видимом диапазоне.

Известно более 40 вегетационных индексов, чувствительных к содержанию этого пигмента. Все они базируются на измерениях коэффициентов яркости (на разных длинах волн), которые проявляют высокую степень их корреляции с соответствующими растительными показателями в лабораторных условиях. Однако, при применении их в полевых условиях корреляция снижается или разрушается вообще, что обусловлено как различиями оптических свойств единичного листа и фитоценоза, так и определенными техническими сложностями [4].

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью исследований является разработка научно-методического обеспечения спек-

# ПОЛЕВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВОЙ ВАЛИДАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

тральных измерений, которое позволяет создать специализированный аппаратно-программный комплекс (АПК) подспутникового обеспечения для дистанционного спектрометрического зондирования растительности в полевых условиях и проведения обработки полученной информации, в частности, расчета содержания хлорофилла в биомассе. В основу научно-методического обеспечения спектральных измерений положено два метода: деривативных вегетационных индексов и главных компонентов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработан и предложен к использованию альтернативный подход к оценке содержания хлорофилла по спектрам отражения [6-20]. Он основан на получении информации по количественным показателям форм (сигнатур) спектров отражения, что исключает необходимость определения численных значений коэффициентов яркости. Был разработан метод определения концентрации хлорофилла в листьях озимой пшеницы за счет использования соотношения интенсивности максимумов в графике первой производной спектра отражения в области «красного края» спектра,  $\Delta\lambda = 680-750$  нм.

Для получения сплошных массивов спектральных данных о земной поверхности в реальном режиме времени нужна соответствующая бортовая аппаратура – гиперспектральные системы (ГСС) или гиперспектрометры. В настоящее время только США и Европейское космическое агентство (ЕКА) имеют действующие на орбитах космические аппараты (КА) с ГСС.

Данные, получаемые при помощи бортовых гиперспектральных сканеров, требуют валидации (заверки) с помощью наземных полевых измерений [4,6].

В связи с этим возникла необходимость создания специализированного аппаратно-программного комплекса (АПК) подспутникового обеспечения для дистанционного спектрометрического зондирования растительности в полевых условиях и проведения обработки полученной информации, в частности, расчета содержания хлорофилла в биомассе по специальным алгоритмам.

Корпорацией «НПО «Арсенал» совместно с ГП «Завод «Арсенал», Институтом физиологии растений и генетики НАНУ и Институтом космических исследований НАНУ и НКАУ в 2008 году был создан полевой спектрофотометр для тестирования состояния растительности, в том числе и посевов сельскохозяйственных культур. На базе этого прибора и был создан полевой спектральный АПК для дистанционного исследования растительности.[28].

*Полевой спектральный аппаратно-программный комплекс для дистанционного исследования растительности*

Основными характеристиками спектрального АПК, влияющими на качество измерений, есть значение соотношения «сигнал/шум» и спектральное разрешение  $\delta\lambda$  [4,6,12] в необходимом диапазоне длин волн. Оба эти параметра является противоречащими друг другу, поскольку первое из них требует сужения спектральной ширины входной щели классического спектрального прибора, что снижает интенсивность светового потока и, следовательно, способствует повышению относительной величины шумового сигнала. Кроме того, указанные условия должны выполняться при большой величине динамического диапазона, поскольку при измерениях биологических объектов растительного происхождения в полевых условиях существует значительный перепад значений коэффициента отражения в области «красного края» (от величины  $\sim 3\%$  до величины  $\sim 60\%$  в диапазоне 680-800 нм). Следует учесть, что естественная освещенность может меняться от 10.000 лк в пасмурную погоду до 120.000 лк в солнечную. При этом, цветовая температура источника освещения может варьироваться от 2200°K до 15000°K [4]. В наземных измерениях возникает также специфическое требование к форме поля зрения прибора, что связано с его апертурой. При традиционной конструкции входного тракта, полем зрения спектрального датчика есть узкая длинная полоса, пропорциональная размеру входной щели спектрального прибора.

В ходе создания полевого спектрального АПК было предложено решение проблемы выбора оптимальных значений основных технических параметров [4], как решение

задачи многокритериальной оптимизации выходных технических характеристик прибора с учетом ограничений [6]. В результате были определены и оптимизированы взаимосвязанные между собой основные технические параметры этой гиперспектральной измерительной аппаратуры, влияющие на достоверность результатов дистанционного спектрометрического зондирования растительности, а также на результаты определения содержания в ней хлорофилла [4,6].

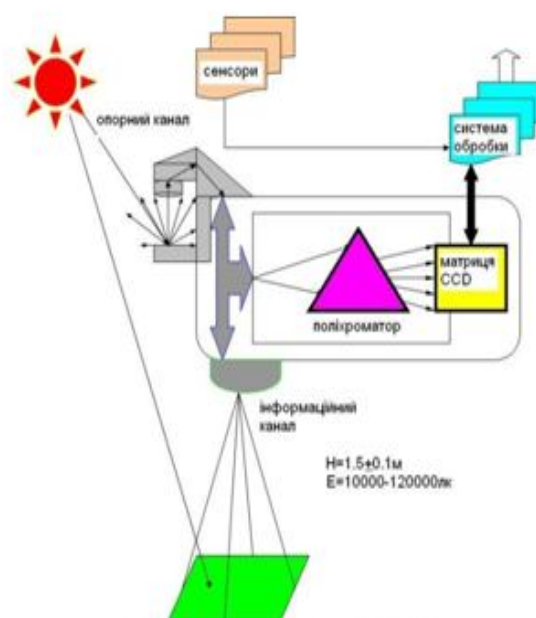
С помощью специализированной программы ZEMAX-EE [29] проводилась разработка оптической схемы, на основе скрещенной структуры спектрографа Черни-Тернера, модернизированного в гиперспектрометр [4,6]. Как показали расчеты этой оптической схемы, спектрограф с острыми углами падения и отражения может обеспечить более плоскую зону в рабочей спектральной области и хорошую коррекцию аберрации.

Полевой спектрометр [17] имеет информационный и опорный каналы, спектрограф Черни-Тернера с входной спектральной щелью, входным и выходным коллиматорами, в фокусах которых соответственно расположены входная щель и матричное фотоприемное устройство. Между коллиматорами на изломанной оптической оси расположен диспергирующий элемент.

Фотоприемное устройство выполнено в виде фоточувствительной матрицы Kodak Digital Science KAC-1310 CMOS [27] форматом 1280 x 1024 пикселей, с размером пикселя  $6 \times 6 \text{ мкм}^2$ , с внутренним АЦП является общим для обоих каналов. Оно электрически связано с электронной системой управления и обработки информации с сохранением результатов измерений. Диспергирующий элемент выполнен в виде нестандартной отражающей дифракционной решетки [4,6] с высокой дифракционной эффективностью в диапазоне длин волн  $\Delta\lambda = 650\text{-}750 \text{ нм}$  ( $\lambda_{\text{max}} = 725 \text{ нм}$ ).

**Таблица 1.** Технические характеристики полевого спектрометра АПК [6].  
**Table 1.** Technical characteristics field spectrometer AIC [6].

Спектральный диапазон	520-800 нм
Спектральное разрешение $\delta\lambda$	1,8-3 нм
Угол обзора	$16 \times 16^\circ$
Диапазон освещенностей	10.000-120.000 лк
Время измерения	0,1-1 с
Величина собственных шумов	не более 0,1 %
Диапазон определения хлорофилла	1,5-8,0 мг/дм <sup>2</sup>
Напряжение питания	6 В
Мощность потребления (пиковая загрузка при обработке шторки)	4,5 Вт
Размеры	310x23x 200 мм
Вес (без штатива и ЭВМ)	до 9 кг



**Рис. 1.** Блок-схема АПК  
**Fig. 1.** Flow-chart of APK

# ПОЛЕВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВОЙ ВАЛИДАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Входная щель спектрального прибора выполнены путем прецизионной фотолитографии слоя черного хрома на поверхности кварцевой пластинки и имеет ширину  $d = 20$  мкм (0,02 мм).

Непосредственно перед входной щелью расположен разделительный оптический элемент (поворотная призма), который разделяет входную щель на две части – верхнюю (*опорный канал*) и нижнюю (*информационный канал*).

В опорном канале содержится деталь, которая выполнена из оптического материала с высоким коэффициентом диффузного рассеяния [17].

Ее рабочая поверхность оптически связана как с источником освещения в натуральных условиях, так и с верхней частью фотоприемного устройства.

Общая зона матричного фотоприемного устройства КАС-1310 CMOS (1280 x 1024 пикселей) программно разбита на верхнюю и нижнюю подзоны (1024 x 520- измерительный канал и 1024 x 334- опорный канал) [17].

В таблице 1 приведены технические характеристики полевого спектрометра полевого АПК.

На рис. 1. представлена блок-схема АПК, а общий вид (А) и разрез общего вида (Б) полевого спектрометра представлен на рис. 2.

Рабочее положение полевого спектрального АПК при измерении спектров отражения посевов озимой пшеницы приведено в [6].

Поскольку полевой спектрометрический комплекс построен на основе спектрометра, имеющего спектральное разрешение  $\delta\lambda$  не хуже 1,8-3 нм в интервале длин волн 520-800 нм ( $\Delta\lambda = 280$  нм), то можно утверждать, что он является гиперспектральным [22], с числом спектральных каналов не менее 90 ( $280\text{нм}/3\text{ нм} \geq 93$ ).

В гиперспектрометре КА «Ресурс-П» число спектральных каналов – 96 [8].

Перед фотоприемным устройством установлена электромеханическая шторка, которая электрически соединена с электронной системой управления и обработки информации.

Кроме этого, полевой спектрометр [17] имеет дополнительные датчики: для измерения освещенности, температуры и для определения географических координат местоположения спектрометра (GPS – приемник).

А электронная система обработки информации имеет в себе RTC-часы (часы реального времени с календарем).

Все они, параллельно, соединены с электронной системой обработки информации и сохранения результатов измерений.

Имеется также оптическая система визирного канала (видоискателя), которая предназначена для наведения на объект измерения и уточнения границ зоны исследования.

*Работа полевого спектрометрического АПК*

Полевой спектрометрический АПК работает следующим образом.

Источник освещения одновременно одинаково освещает как объект измерения, так и сам полевой спектрометр [17].

Величину освещенности регистрирует датчик, электрический сигнал с которого поступает в систему обработки и используется как для документирования результатов измерений, так и для управления величиной экспозиции объекта измерения.

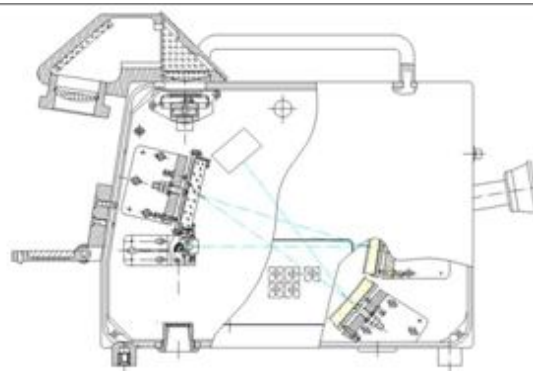
Световой поток, отражающийся от объекта измерения, через оптическую систему входного информационного канала и солнечный свет (или свет от неба), поступающий через оптическую систему опорного сигнала с диффузно-отражающим компонентом, попадают соответственно на нижнюю и верхнюю части входной щели полевого спектрометра.

После прохождения через входную щель и входной коллиматор два разделенных в пространстве световых пучка лучей параллельными потоками попадают на диспергирующий элемент (дифракционную решетку).

Изображение разложенных в спектр этих двух световых потоков формируются выходным коллиматором в два цветных (спектральных) изображения двух частей (нижней и верхней) входной щели соответственно в плоскостях подзон матричного фотоприемного устройства.



А



Б

Рис. 2. Общий вид (А) и разрез общего вида (Б) полевого спектрометра  
Fig. 2. General kind (A) and cut of general type (Б) of the field spectrometer

Фотоприемное устройство в каждом своем пикселе трансформирует световой сигнал в электронный. Совокупность последних, после внутреннего аналого-цифрового преобразования вместе с данными, дополнительно поступающих от датчиков, (которые измеряют соответственно освещенность, температуру окружающей среды, а также фиксируют географические координаты места и время проведения измерения) проходят обработку по необходимым алгоритмами в электронной системой.

На выходе электронной системы обработки информации формируется пакет данных в виде регистрограммы и запоминается электронной памятью. Эта единая регистрограмма содержит в себе все необходимые параметры как об объекте исследований, так и о времени, географических координатах (местоположении) прибора и условиях исследований (внешней температуре и освещенности).

Электромеханическая шторка, которая установлена перед фотоприемным устройством, автоматически закрывает его на время регистрации темнового сигнала при каждом измерении, с последующим вычитанием усредненной зарегистрированной величины темнового сигнала в соответствии с алгоритмом работы полевого спектрометра.

Поскольку диспергирующий элемент, изготовленный в виде нестандартной отражающей дифракционной решетки с максимальной дифракционной эффективностью на длине волны  $\lambda_{\max} = 725$  нм, то регистрация коэффициента отражения растительности, имеющего минимум в спектральной области

так называемого «красного края», на участке длинах волн  $\Delta\lambda = 650-725$  нм, выполняется с максимально возможной достоверностью, что очень важно для реализации алгоритма расчета содержания хлорофилла в растениях с применением деривативных вегетационных индексов  $D_{725}/D_{702}$ , требующих вычисление первых производных [4].

Входной канал, выполненный путем совмещением входного коллиматора и оптической системы входного канала спектрометра позволяет сформировать поле зрения информационного канала прибора в плоскости объекта измерения в виде, удобном для измерения, в том числе, обеспечивает получение поля зрения в форме квадрата размером  $\sim 40 \times 40$  см при размещении устройства на высоте 1,5 м над поверхностью земли.

Оптическая схема устройства позволяет одновременное принятие полезного и опорного сигналов в двухканальной оптической системе спектрального прибора и обеспечивает получение спектра отражения как функцию спектрального распределения коэффициентов отражения.

Единая диспергирующая система двухканального спектрального устройства обладает достаточно высокой спектральной разрешающей способностью  $\delta\lambda \leq 1,8$  нм в рабочем спектральном диапазоне  $\Delta\lambda = 520-820$  нм (и  $\delta\lambda \leq 2-3$  нм на краях этого диапазона), необходимой для реализации в АПК алгоритма расчета содержания хлорофилла в растениях с применением деривативного вегетационного индекса. Она характеризуется широким динамическим диапазоном, благодаря применению специальных способов организа-

# ПОЛЕВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДСПУТНИКОВОЙ ВАЛИДАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

ции приема и накопления сигналов с учетом величины вариации освещенности. Полевой спектрометр в составе АПК обеспечивает возможность регистрации спектров отражения растительности в формате коэффициентов отражения при изменениях освещенности в натуральных условиях измерений в диапазоне 10-100 тыс. люкс. Он снабжен оригинальным программным обеспечением, позволяющим в реальном масштабе времени получать ряд наиболее важных характеристик состояния растительности, например, содержание хлорофилла. Последний параметр можно измерять и для объектов, где отсутствует сплошное покрытие почвы растениями. Такого рода измерения представляют существенное затруднение в практике мировых исследований и осуществляются нашей аппаратурой, благодаря разработанному специальному методу обработки спектральных данных.

По сравнению с известным современным полевым спектрометрическим прибором FieldSpec 4 FR [20] производства фирмы ASD (США), созданный образец специализированного АПК имеет следующие преимущества:

АПК не требует повторной перекалибровки при даже незначительном изменении освещенности, цветовой температуры источника освещения или угла солнцестояния;

АПК имеет возможность дистанционного определения содержания хлорофилла в растительности в полевых условиях.

Проверка экспериментального образца полевого АПК для дистанционного определения содержания хлорофилла в растительности в натуральных условиях осуществлялась на опытных участках Института физиологии НАН Украины и на опытных полях института в Васильковском районе Киевской области. Натурные и полевые испытания этого образца в натуральных условиях проводились на разных фазах вегетации в период весна-осень течение нескольких лет. Часть измерений проводили в условиях переменной облачности, что позволило получить спектры одного участка при разной интенсивности освещения.

По мере подъема над горизонтом солнце из красного становится в зените бело-желтым, а его цветовая температура повы-

шается с 2200°К до 5700°К. Цвет неба зависит от многих факторов и изменяется от голубого до синего. При этом, цветовая температура неба – более 15000 °К.

Результаты испытания в полевых условиях созданного образца спектрометрического АПК:

показали полное соответствие поставленным техническим требованиям в широком диапазоне освещенности 10.000 -120.000 лк, цветовой температуры источника освещения от 2200°К до 15000°К и зенитных углах Солнца до 170°. Изменение  $D_{725}/D_{702}$  составляло менее 1% и не зависило ни от уровня освещенности, ни от изменения угла солнцестояния [4];

подтвердили возможность измерения с помощью АПК содержания хлорофилла в условиях низких значений проективного покрытия почвы растительностью (до 25% включительно, даже на таком высоком фоне, как песок) [4, 13].

## ВЫВОДЫ

Данные, получаемые при помощи бортовых мульти- и гиперспектральных сканеров, требуют валидации с помощью наземных спектрометрических полевых измерений. В связи с этим возникла необходимость создания специализированного спектрального АПК подспутникового обеспечения для дистанционного спектрометрического зондирования растительности в полевых условиях и проведения обработки полученной информации, в частности, расчета содержания хлорофилла в биомассе по специальным алгоритмам.

В данной работе рассмотрены как краткий поход к проблеме подспутниковой валидации, так и особенности конструкции созданного и испытанного авторами на протяжении нескольких лет экспериментального образца специализированного наземного полевого спектрального АПК для дистанционного исследования растительности. Эти испытания не только выявили преимущества прибора по сравнению с зарубежными аналогами, но и позволили получить ценную информацию, которая может быть положена в основу новых технологий в области вали-

дация космических и авиационных мультиспектральных и гиперспектральных измерений.

Работа поддержана и ведется в рамках проекта УНТЦ № 5240.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. АТ «KazGeoKosmos»: - [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.kgc.kz/tehnolog5.htm>.
2. Vegetaciuonu indeksu: Perechen indeksov i formul ih opredelenii [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.gis-lab.info/qa/vi.html>.
3. Flys I. 2010: Engineer project management of production and processing complexes / I. Flys – Motrol, 12 – 75–81.
4. Donets V.V. 2010: Obgrunruvanni strukturu aparaturno-programnogo kompleksy dly dustanciynogo zondyvanny roslunnisti v polovuh umivah: Aftoref. dus. kan. theh. nayk. – Kiev. – 19.
5. Donets V.V. 2012: Osobenotsi primeneniya izluchenia v bortovuh giperspektrometrah / V.V. Donets, L.I. Muravskiy // Kosmicna nauka i tehnologiy. – T18. № 3. – 20–37.
6. Kosmicni: Kosmicni aparatu «Resurs-P» [Elektronui resurs] - Regum dostupu: [http://geomatca.ru/pdf/2010\\_04/2010\\_04\\_004.pdf](http://geomatca.ru/pdf/2010_04/2010_04_004.pdf).
7. Kochubey S.M. 1988: Sviz otragennuh karakteristik listiv ozumoi plemutci s soderganiem u nih azota i hlorofila f techehii vegetacii / Kochubey S.M., Hadchina T.M., Kochubey N.I., Dmitriyev V.V. // Viziologii i biokhimi kulturnuh rastenii. – T. 20., № 6. – 530 – 534.
8. Kochubey S.M. 1990: Spectralnye svoystva listiev rasenyi kak osnova metodov distancinnoi diagnostiki / Kochubey S.M., Hadchina T.M., Kochubey N.I. – Kiev: Naukova dumka. – 136.
9. Dubrovin V. 2012: Proizvodstvo entomologicheskogo preparata trikhogrammy / V. Dubrovin, G. Golub, O. Marus / – Motrol, 14 / – №3 – 9–20.
10. Donets V.V. 2008: Kosmicna nauka i tehnologii. – T 14. № 1. – 69–74.
11. Lylko V.I. 2006: Bagatospectralni metodu dustanciynogo zondyvanny zemli / Lylko V.I., Popov M.O. – Kiev: Naukova dumka. – 360.
12. Na Baykonur: Na Baykonur dostavilu kosmicniy aparat distanciynogo zonduvaniya «Resurs-P» [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.gisa.ru/90272.html>
13. Patent 2012: Patent Ukrainu № UA 70505 від 11.06.2012, М.кл. G01T 7/00. Poloviy spectrometr dly testuvaniya roslunnosti.
14. Icenko V.A. 2007: Novui metod distancionogo ocenivanni soderganii hlorovila v rastitelnosti i ego programno-aparatnai realizacii // Kosmicna nauka i tehnologiy. – T 13. No 3. – 35–44.
15. Barry P.S. 2001: The EO-1 Mission: Hyperion data/ P.S. Barry, J. Pearlman // August 14, — [Elektronui resurs] - Regum dostupu: [www.fas.org/irp/imint/hyperion.pdf](http://www.fas.org/irp/imint/hyperion.pdf)
16. Donets V.V. 2009: Optimal spectrometer synthesis for remote sensing of vegetation / V.V. Donets, O.V. Semeniv, V.A. Yatsenko // Tenth International Young Scientists Conference “Optics and high technology SPO 2009”, October 22–25, Kyiv, Ukraine, Scientific works. – 157.
17. FieldSpec: FieldSpec 4 Standard-Res Spectroradiometer [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.asdi.com/products/fieldspec-spectroradiometers/fieldspec-4-standard-res>
18. Kodak: Kodak Digital Science KAC – 1310 [Elektronui resurs] / – Regum dostupu: [http://ljr.bagn.obsmp.fr/observing/docu/KAC1310\\_datasheet.pdf](http://ljr.bagn.obsmp.fr/observing/docu/KAC1310_datasheet.pdf)
19. Yatsenko V. Hardware-software Complex for Chlorophyll Estimation in Phytocenoses Under Field Conditions/ V. Yatsenko, S. Kochubey, V. Donets, T. Kazantsev 2005: // SPIE Europe International Symposium «Optical Systems Design», 12–16 September 2005, Friedrich-Schiller-Universitat Jena, Proc. of SPIE, Vol. 5964. – 6.
20. ZEMAX: Software for Optical System Design – [Elektronui resurs] – Regum dostupu: <http://www.zemax.com>.

#### FIELD SPECTRAL VEHICLE-PROGRAM COMPLEX FOR SUBSATELLITE VALIDATION RESEARCH OF VEGETATION CONTROLLED FROM DISTANCE

**Summary.** The features of construction of the created field spectral apparatus-program complex for subsatellite are considered the validation research of vegetation controlled from distance.

**Key words:** complex, remote sensing, subsatellite validation.