



# КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ

НАЦІОНАЛЬНА  
АКАДЕМІЯ  
НАУК УКРАЇНИ

Том 25  
**5(120)**  
2019

# SPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ + ЗАСНОВАНО В ЛЮТОМУ 1995 р. + ВИХОДИТЬ 6 РАЗІВ НА РІК + КИЇВ

## ЗМІСТ

### Космічні апарати і корисне навантаження

*Бердник А. И., Каляпин М. Д., Лысенко Ю. А., Бугаенко Т. К.* Многоразовый лунный лэндер ..... 3

### Космічні матеріали та технології

*Дорожко А. И., Дегтяренко П. Г., Макаров А. Л., Сидорук В. О., Венцовский О. М.* Сверхманевренное транспортное средство ..... 11

*Кашенкова А. В., Калініна Н. Є., Джур Є. О.* Розробка пошарового лазерного спікання порошкових композицій конструкційних сталей ..... 18

### Астрономія і астрофізика

*Відмаченко А. П., Казанцева Л. В., Морозенко О. В., Чолій В. Я., Неводовський П. В.* Астрономічні спостереження та моніторингові дослідження Землі з поверхні чи з орбіти Місяця і їхній наземний супровід .. 25

## CONTENTS

### Spacecrafts and Payloads

*Berdnyk O. I., Lysenko Y. O., Kaliapin M. D., Buhaienko T. K.* Reusable lunar lander ..... 3

### Space Materials and Technologies

*Dorozhko A. I., Degtiarenko P. G., Makarov A. L., Sydoruk V. O., Vintsovsky O. M.* Supermaneuverable vehicle ..... 11

*Kashenkova A. V., Kalinina N. Ye., Dzhur Ye. O.* Development of selective laser sintering of powder compositions of constructional steels ..... 18

### Astronomy and Astrophysics

*Vidmachenko A. P., Kazantseva L. V., Morozhenko O. V., Choliy V. Ya., Nevodovskyi P. V.* Astronomical observations and monitoring surveys of the Earth from the surface or from the Moon's orbit and their ground support 25

**Історія космічних досліджень**

*Стрелко О. Г., Пилипчук О. Я., Бердниченко Ю. А.* До п'ятдесятиріччя першого експерименту зі зварювання у космосі . . . . . 76

**Наші автори** . . . . . 85

**History of Space Research**

*Strelko O. H., Pylypchuk O. Ya., Berdnychenko Yu. A.* The fiftieth anniversary of the first space welding experiment . . . . . 76

**Our authors** . . . . . 85

*На першій сторінці обкладинки — мотор-колесо (див. статтю О. І. Дорожка та ін. на с. 3)*

---

**Журнал «Космічна наука і технологія» включено до переліку наукових фахових видань України, в яких публікуються результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата фізико-математичних та технічних наук**

**Відповідальний секретар редакції О.В. КЛИМЕНКО**

**Адреса редакції:** 01030, Київ-30, вул. Володимирська, 54  
тел./факс (044) 526-47-63, ел. пошта: [reda@mao.kiev.ua](mailto:reda@mao.kiev.ua)  
Веб-сайт: [space-scitechnjournal.org.ua](http://space-scitechnjournal.org.ua)

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 1232 від 2 лютого 1995 р.  
Перереєстровано Міністерством юстиції України 21.11.2018 р.,  
Свідоцтво серія КВ № 23700-13540 ПР

---

Підписано до друку 23.10.2019. Формат 84 × 108/16. Гарн. Ньютон. Ум. друк. арк. 9,03.  
Обл.-вид. арк. 9,48. Тираж 101 прим. Зам. № 5772.

---

Оригінал-макет виготовлено і тираж віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України  
вул. Терещенківська, 4, м. Київ, 01004

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001 р.

<https://doi.org/10.15407/knit2019.05.003>

УДК 629.788

А. И. Бердник, М. Д. Каляпин, Ю. А. Лысенко, Т. К. Бугаенко

Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепро, Украина

## МНОГОРАЗОВЫЙ ЛУННЫЙ ЛЭНДЕР

---

*Существенно повысить эффективность космического транспорта позволяет применение многоразовых систем, в особенности использующих топливо космического производства, первым источником которого будут полезные ископаемые Луны. Поэтому первоочередным важнейшим звеном будущей инфраструктуры «околоразностная орбита — Луна» станет космическая транспортная система, где ключевым элементом будет многоразовый лунный лэндер (МЛЛ), обеспечивающий грузо- и пассажиропоток сообщением «орбита Луны — поверхность Луны» и обратно. В работе приведены сценарии применения МЛЛ для различных этапов его создания, перечислены основные требования для его разработки. Показана конструкция многоразового лэндера и состав его основных технических систем. Его двигательная установка будет работать на топливе, производимом на лунной базе из местных ресурсов, а бортовые системы будут оптимизированы для многоразового использования и универсальности применения, в частности в вариантах для доставки грузов и ротации экипажей базы. Приведены основные характеристики и энергетические возможности МЛЛ, состав транспортной системы и лунной инфраструктуры, применяемых совместно с МЛЛ. В статье также приводится предварительный анализ экономической эффективности использования многоразового лунного лэндера по сравнению с одноразовыми, а также дальнейшие перспективы его применения.*

**Ключевые слова:** лунная база, многоразовый лунный лэндер.

---

### ВВЕДЕНИЕ

В рамках работ по концептуальному проекту лунной промышленно-исследовательской базы, разработанному специалистами Конструкторского бюро «Южное» [1, 3], одной из ключевых задач являлась разработка технологий добычи и использования местных (лунных) ресурсов, в настоящее время называемых ISRU-технологиями. Использование местных ресурсов обеспечит существенное снижение затрат на космическую деятельность благодаря сокращению массы запускаемых в космос грузов, что составляет львиную долю затрат в космических операциях и является основной сдерживающей силой развития космонавтики за пределы низких околоземных орбит.

---

© А. И. БЕРДНИК, М. Д. КАЛЯПИН,  
Ю. А. ЛЫСЕНКО, Т. К. БУГАЕНКО, 2019

В рамках работ, проводимых на лунной базе, планируется создавать и совершенствовать на практике необходимые технологии, а также вводить в строй первые очереди промышленной добычи внеземных ресурсов, куда кроме топлива входят кислород, конструкционные и расходные материалы, редкоземельные элементы и другие ценные ресурсы, применимые как в космосе, так и на Земле.

Самым востребованным в космосе ресурсом будет топливо или рабочее тело ракетных двигателей, причем максимально эффективное его применение будет реализовано на транспортных участках, наиболее близких к месту производства самого топлива, то есть на перелетах между лунной базой, где топливо производится, и лунной орбитальной платформой — ближайшем хабе (перевалочном пункте) транспортной

цепочки «Земля — Луна». Таким образом, сформирована цель создания многоразового лунного лэндера как первичного потребителя, для которого организация производства топлива на Луне будет необходима в первую очередь.

#### СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

КА — космический аппарат

ЛБ — лунная база

ЛОП — лунная орбитальная платформа

МЛЛ — многоразовый лунный лэндер

НИИТ — Научно-исследовательский институт технологий

ОКБ — окологлунный космический буксир

ПГ — полезный груз

РБ — разгонный блок

УСМ — универсальный стыковочный механизм

ISRU — in-situ resource utilization (использование местных ресурсов)

#### КОНЦЕПЦИЯ МНОГОРАЗОВОГО ЛУННОГО ЛЭНДЕРА

Исходя из развития транспортного сообщения с поверхностью Луны, рассмотренного в работе [3] на этапах 3—4, для отработки компонентов многоразового лунного лэндера (МЛЛ) и повышения его надежности предполагается, что на этапе до организации топлива на Луне МЛЛ будет проходить этап летных испытаний и начальной эксплуатации, базируясь на лунной орбитальной платформе, и дозаправляться от топлива, доставляемого с Земли. На данном этапе может также применяться одноразовая версия лэндера, которая не требует дозаправки и обслуживания и является полностью независимой от какой-либо дополнительной инфраструктуры.

Основной типовой миссией МЛЛ выбрана доставка одиночного полезного груза (ПГ) с окологлунной орбиты на лунную базу и возвращение лэндера без груза на орбиту, при этом начальная масса аппарата с ПГ на окологлунной орбите составляет 20 т, как и в транспортной системе для создания лунной базы [1]. Это упростит переключение с одноразового лэндера начального этапа на многоразовый на дальнейших этапах обслуживания и расширения базы.

Данная транспортная задача является определяющей для формирования основных требова-

ний и основных характеристик МЛЛ. Для расширения его функциональности и увеличения эффективности использования рассмотрены также миссии с доставкой на поверхность Луны пилотируемой кабины с экипажем и возвращения ее на окологлунную орбиту, что может применяться как для ротации экипажей, так и для пилотируемых высадок в неисследованные районы Луны.

Кроме этого, при оптимизации конструкции МЛЛ учитывались следующие требования:

- компактность, в частности ширина, позволяющая размещение в обтекателе с наружным диаметром 6.2 м ракеты-носителя сверхтяжелого класса;

- минимальная высота верхней платформы с полезным грузом для упрощения погрузочно-разгрузочных операций;

- максимальная конструктивная простота, предполагающая минимальное количество компонентов, и минимум затрат как при создании МЛЛ, так и при его производстве и эксплуатации;

- симметричное размещение топливных баков и полезного груза для минимизации смещения центровки в полете;

- минимальная конечная масса МЛЛ за счет оптимизации силовой конструкции с учетом рационального размещения всех компонентов МЛЛ и оптимального распределения нагрузок на разных режимах полета и посадки.

Следуя данным требованиям, многоразовый лунный лэндер выполнен одноступенчатым, при этом запас топлива в его баках обеспечивает выполнение как целевой транспортной миссии, так и возвращения аппарата к месту базирования — на лунную орбитальную платформу (ЛОП), а впоследствии — на лунную базу (ЛБ), производящую топливо для дозаправок.

Двигатели лэндера работают на жидких кислороде и водороде, получаемых из лунных запасов воды методом электролиза, и обеспечивающих высокую эффективность использования МЛЛ в транспортных миссиях. Как показали проведенные расчеты, аппарат способен доставлять на лунную базу ПГ такой же массы, как и одноразовая система начального этапа, использующая высококипящие компоненты топлива.

## СЦЕНАРИИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОРАЗОВОГО ЛУННОГО ЛЭНДЕРА

На рис. 1—3 показана последовательность операций при использовании МЛЛ до начала производства топлива на Луне. Для первой миссии аппарат доставляется с Земли на окололунную орбиту, выполняет посадку на Луну, разгрузку и перелет на лунную орбитальную платформу (рис. 1). Для обеспечения новой миссии с Земли к ЛОП доставляется очередной груз массой 20 т, включающий 8 т груза для доставки на поверхность Луны (либо герметичную кабину массой 3.5 т) и 9 т топлива для дозаправки МЛЛ (рис. 2).

Лэндер дозаправляется, пристыковывается к новому блоку доставляемого груза и после прохождения необходимых тестов начинает новую миссию по доставке на лунную поверхность полезного груза (рис. 3). Цикл (действия, показанные на рис. 2 и 3) повторяется для каждой последующей миссии.

Миссии с пилотируемой лунной кабиной выполняются аналогичным образом, отличие только в отсутствии разгрузки и способе доставки целевого груза — экипаж, доставляемый на Луну, прилетает к ЛОП на отдельном пилотируемом

корабле (например «Orion»), а герметичная кабина для лунных высадок используется многократно и базируется на ЛОП. Примечательно, что на данном этапе благодаря базированию на ЛОП, размещаемой на полярной орбите, лэндер может высаживаться практически в любой точке лунного шара (где это позволит рельеф) и возвращаться обратно на ЛОП.

На этапе использования для дозаправки и подготовки МЛЛ лунных ресурсов его базирование переносится на поверхность Луны вблизи лунной базы, где имеются посадочная площадка, а также комплекс дозаправки и предполетной проверки лэндера с необходимым оборудованием. При этом для доставки на поверхность Луны целевого полезного груза уже не потребуется доставлять на окололунную орбиту дополнительные расходные грузы (топливо и газы).

Таким образом, в зависимости от этапа эксплуатации и конфигурации лэндера рассмотрено шесть основных сценариев применения МЛЛ — три грузовых и три пилотируемых (см. таблицу). Приведенная масса полезного груза определена на основании баллистических расчетов, для которых было разработано отдельное программно-математическое обеспечение.

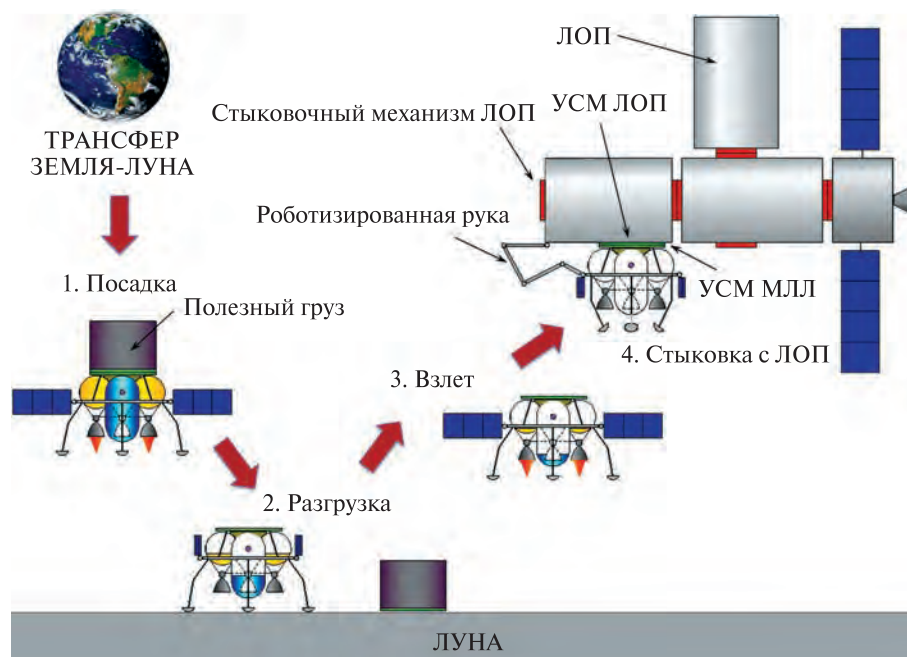
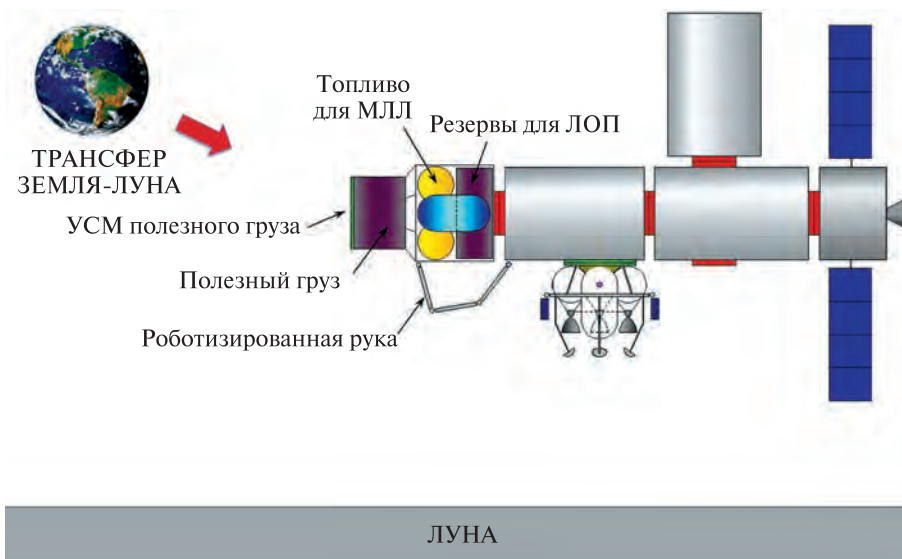
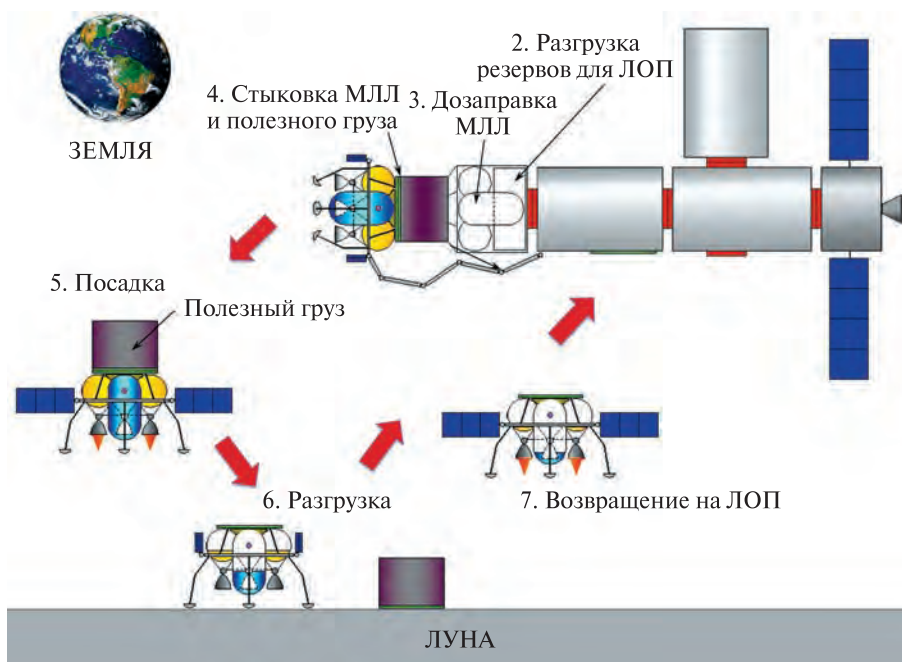


Рис. 1. Первая миссия многоразового лунного лэндера



**Рис. 2.** Доставка на лунную орбитальную платформу грузов, необходимых для повторной миссии многоразового лунного лэндера



**Рис. 3.** Подготовка многоразового лунного лэндера на лунную орбитальную платформу и выполнение повторной миссии

Как видно из таблицы, благодаря высокой эффективности кислородно-водородных двигателей даже на начальном этапе МЛЛ будет эффективнее одноразового лэндера на высоко-

кипящих компонентах, поскольку в одноразовых миссиях масса груза может быть увеличена до 9.6 т (за счет недозаправки баков при полете в одну сторону). При реализации миссий с много-

разовым лэндером необходимая для повторной миссии доставка груза на окологлунную станцию сокращается до 17 т, поскольку сам лэндер будет использоваться повторно. В пилотируемом варианте с многоразовой кабиной доставка необходимых грузов составит только 9 т топлива и экипаж, прилетающий отдельной миссией на корабле для возврата на Землю, который будет ожидать на окологлунной станции. Резерв массы ПГ (3 или 11 т) может использоваться для дооснащения ЛОП новыми модулями, оборудованием, расходными материалами и т. п.

### СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОРАЗОВОГО ЛУННОГО ЛЭНДЕРА

Облик и основные компоненты системы МЛЛ приведены на рис. 4.

Для двигателей МЛЛ была выбрана относительно простая и надежная открытая турбонасосная схема работы с восстановительным газогенератором. В состав двигательной установки лэндера входит три маршевых двигателя, но на финальном участке посадки используется только один центральный, с возможностью регулирования тяги в пределах 50...100 %. Данная схема обладает повышенной надежностью (возможно аварийное продолжение полета при отказе одного двигателя), меньшим требуемым уровнем тяги и диапазоном дросселирования для единичного двигателя, что сокращает затраты на его создание.

При выборе конструкции МЛЛ анализировались шесть различных вариантов компоновки топливных баков, включающих различное количество сферических, сфероцилиндрических и тороцилиндрических баков. Оптимизированная конструкция МЛЛ включает в себя два сферических бака жидкого кислорода и два сфероцилиндрических бака жидкого водорода с симметричным расположением. Баки соединены в общую конструкцию путем установки на силовой каркас, в верхней части которого установлено универсальное стыковочное устройство. На данном устройстве могут быть установлены как герметичная кабина для пилотируемых миссий, так и различные варианты грузов, отдельные модули будущей лунной базы либо негерметичные платформы с оборудованием, в частности для развертывания добычи лунного льда и производства из него топлива.

Снизу на аппарате установлены четыре раскладывающиеся посадочные опоры, оснащенные механическими демпферами многоразового действия. С их помощью можно обеспечить наклон корпуса МЛЛ после посадки на небольшой угол для упрощения разгрузочных операций. В состав многоразового лэндера входят также блоки двигателей малой тяги, работающие на газообразных компонентах топлива из основных баков. Для обеспечения теплового режима компонентов топлива, а также испарения части топлива

### Массовые характеристики и энергетические возможности многоразового лунного лэндера для различных сценариев

Тип лэндера	Начальная масса с полной заправкой баков, т	Масса доставляемого на Луну полезного груза, т	Доставляемая на ЛОП масса для повторной миссии, т
Одноразовый сценарий на ОЛО			
грузовой	20	8 (9.6*)	20
пилотируемый	15.5	3.5**	15.5
Многоразовый сценарий, базирование на ЛОП			
грузовой	20	8	17
пилотируемый	15.5	3.5**	9
Многоразовый сценарий, базирование на ЛБ			
грузовой		6.1	6.1
пилотируемый	15.5	3.5**	0

*Примечание:* \* — в скобках указана масса, доставляемая в случае недозаправки баков; \*\* — для пилотируемых лэндеров в качестве ПГ указана масса пилотируемой кабины с экипажем и попутными грузами. При сокращении данной массы до 3.2 т возможна доставка с ЛОП на ЛБ дополнительного груза массой около 600 кг.



Рис. 4. Многоразовый лунный лэндер

для двигателей малой тяги, предполагается использование бортовой активной криосистемы. Прототипом такой системы может рассматриваться система термостатирования бака с переохлажденным жидким кислородом двигательной установки орбитального корабля многоразовой космической системы «Энергия — Буран» [2], в создании которой принимали участие украинские предприятия, в частности Научно-исследовательский институт технологий «Криогенмаш» (г. Одесса).

В состав бортовой авионики входят системы управления, телеметрии, дальней связи, астронавигации, терморегулирования, приборы системы посадки, и т. д. Система электропитания включает в себя бортовые аккумуляторные батареи и складываемые солнечные панели. Основная часть конструкции МЛЛ снаружи покрыта экранно-вакуумной теплоизоляцией. На наружной поверхности МЛЛ также расположены заправочные и контрольно-проверочные интерфейсы, радиаторы, приборы астронавигации и мягкой посадки, антенны космической связи и др.

В архитектуру построения систем МЛЛ закладывается принцип модульности и ремонтпригодности в открытом космосе, что позволит при необходимости выполнить замену отказавшего модуля или другой вид ремонта либо с помощью манипулятора, либо с непосредственным участием экипажа.

Ниже приведены основные характеристики многоразового лэндера.

#### Основные характеристики многоразового лунного лэндера

Максимальная масса лэндера с ПГ при доставке к ЛОП, т	20
Заправленная масса лэндера без ПГ, т	12
Конечная масса лэндера, т	3
Масса расходуемого в полете топлива, т	9
Компоненты топлива	LOX+LN
Максимальная тяга маршевых двигателей, кН	79.43 (3 шт.)
Минимальная тяга маршевых двигателей, кН	12.75 (1 шт.)
Удельный импульс маршевых двигателей, м/с	4315
Максимальный диаметр МЛЛ под обтекателем, м	5.35
Масса герметичной кабины экипажа, т	3.2...3.5
Вместимость герметичной кабины, чел.	4
Полетный ресурс, миссий с возвращением	10...20

Как видно, максимальная масса аппарата с ПГ составляет 20 т, внешний диаметр 5.35 м, что соответствует возможностям космической транспортной системы, разработанной для проекта лунной базы [1].

В данную систему входят сверхтяжелая ракета-носитель «Маяк-СТ5», разгонный блок и околорысанный космический буксир, при этом РН «Маяк-СТ5» обеспечивает выведение сборки РБ + ОКБ + МЛЛ на низкую околоземную орбиту, а РБ и ОКБ — выход на транслунную и целевую околорысанный орбиты соответственно. В перспективе предполагается заменить эти два блока одним кислородно-водородным, обеспечивающим, помимо других задач, доставку на ЛОП топлива для дозаправки МЛЛ непосредственно в своих основных баках. Совместно с возможно-



стями ЛОП данные компоненты составят единую универсальную транспортную систему, обеспечивающую транспортные операции лунной базы на этапе перехода на производство топлива из лунных запасов воды.

### ПРЕИМУЩЕСТВА МНОГОРАЗОВОГО ЛУННОГО ЛЭНДЕРА

Таким образом, использование в составе лунной транспортной системы многоразового лэндера позволит существенно сократить затраты на доставку полезного груза на Луну за счет исключения необходимости изготовления нового лэндера для каждой миссии, а также за счет сокращения общей массы запускаемого с Земли груза, необходимого для доставки каждой тонны груза на Луну. На первом этапе (базирование на ЛОП) применение МЛЛ сокращает массу необходимого для последующих миссий груза на 25 % для беспилотных рейсов и на 42 % для пилотируемых, что обеспечит существенный экономический эффект с учетом высокой стоимости доставки грузов на окололунную орбиту. На втором этапе, при использовании топлива лунного производства, дополнительный груз для каждой тонны доставляемого с ЛОП на Луну ПГ сокращается практически до нуля, поскольку данная операция выполняется на лунном топливе и с использованием МЛЛ лунного базирования, работоспособность которого обеспечивается только лунной инфраструктурой.

Дальнейшие существенные экономические преимущества могут быть получены за счет доставки в хранилище ЛОП лунного топлива (до 8 т за один рейс) и его использования для дозаправки КА, работающих в окололунном и околоземном пространстве. Такими КА могут быть различные спутники Земли, межорбитальные буксиры, сервисные космические модули, обслуживающие геостационарные КА, уборщики космического мусора, а в перспективе — крупнотоннажные межпланетные корабли пилотируемых экспедиций в пределах всей Солнечной системы. Также планируется доставка различных лунных конструкционных материалов для космического строительства, вплоть до геостационарной орбиты, что будет дешевле, чем привозить их с Земли.

Сам факт наличия регулярно действующей транспортной системы на участке «орбита Луны — поверхность Луны» открывает много новых возможностей по развитию формируемых в настоящее время лунного бизнеса и новых рынков, вплоть до космического туризма и создания долговременных лунных поселений или частных лунных баз.

Благодаря использованию лунной инфраструктуры, обеспечивающей регулярные перелеты МЛЛ топливом и межполетным обслуживанием, данная транспортная система способна работать почти автономно, не требуя доставок дополнительной массы грузов для каждого рейса. Это обеспечивает минимальный уровень затрат на доступ к поверхности Луны и полностью соответствует концепции возвращения на Луну для постоянного присутствия [4], сформулированной нынешним главой NASA Джимом Брандштайном: «Иметь возможность летать туда и обратно с Луны и приземляться в любом месте на ее поверхности и в любое время».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтярев А. В., Лысенко Ю. А., Каляпин М. Д., Осинский Г. Г. Лунная промышленная база. Ключевые шаги для ее создания. *Заново открывая космос: Сб. ст. 15-й Междунар. конф., RISpace-2017 Proceedings*. 2017.
2. Лукашевич В. П. Орбитальный корабль «Буря». Объединенная двигательная установка (ОДУ). 1998. URL: <http://www.buran.ru/html/odu.htm> (дата звернения: 05.07.2019).
3. Лысенко Ю. А., Каляпин М. Д., Осинский Г. Г., Дегтярев А. В. Концепция лунной промышленно-исследовательской базы. *GLEX-2017: Сб. ст. Глобальной конференции по космическим исследованиям*. 2017.
4. Grey Hautaluoma Challenging ourselves to create the next generation of lunar explorers. URL: <https://www.nasa.gov/feature/challenging-ourselves-to-create-the-next-generation-of-lunar-explorers> (Last accessed: 05.07.2019).

*Стаття надійшла до редакції 05.07.2019*

### REFERENCES

1. Degtyarev O. V., Lysenko Y. O., Kaliapin M. D., Osinovsky G. G. (2017). Lunar Industry Base. Stepping Stones for Its Development. *Proceedings from 15th Reinventing Space Conference*. Glasgow, Scotland.

- Lukashevich V. P. (1998). Orbital Ship Buran. Integrated Propulsion System. URL: <http://www.buran.ru/htm/odu.htm> (Last accessed: 05.07.2019).
- Lysenko Y. O., Kaliapin M. D., Osinovy G. G., Degtyarev O. V. (2017). Lunar Industry and Research Base Concept. *Proceedings from Global Space Exploration Conference GLEX-2017*, Beijing, China.
- Grey Nautaluoma Challenging ourselves to create the next generation of lunar explorers. URL: <https://www.nasa.gov/feature/challenging-ourselves-to-create-the-next-generation-of-lunar-explorers> (Last accessed: 05.07.2019).

Received 05.07.2019

О. І. Бердник, М. Д. Каляпін,  
Ю. О. Лысенко, Т. К. Бугаєнко

Державне підприємство «Конструкторське бюро  
«Південне ім. М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

#### БАГАТОРАЗОВИЙ МІСЯЧНИЙ ЛЕНДЕР

Суттєво збільшити ефективність космічного транспорту дозволяє застосування багаторазових систем, особливо при використанні палива космічного виробництва, першим джерелом якого будуть корисні копалини Місяця. Тому першочерговим найважливішим елементом майбутньої інфраструктури «навколomisячна орбіта — Місяць» стане космічна транспортна система, в якій ключовим елементом буде багаторазовий місячний лендер (БМЛ), який забезпечує грузо- й пасажиропотік на напрямку «орбіта Місяця — поверхня Місяця» і назад. У роботі наведено сценарії використання БМЛ для різних етапів його створення, перелічено головні вимоги для його розробки. Показана конструкція багаторазового лендера та склад його основних технічних систем. Його рушійна установка буде працювати на паливі, що виробляється на місячній базі з місцевих ресурсів, а бортові системи буде оптимізовано для багаторазового використання та універсальності застосування, зокрема у варіантах для доставки вантажів та ротатії екіпажів бази. Наведено основні характеристики та енергетичні можли-

вості БМЛ, склад транспортної системи та місячної інфраструктури, що використовується спільно з БМЛ. Зроблено попередній аналіз економічної ефективності використання багаторазового місячного лендера у порівнянні з одноразовими, а також подальші перспективи його застосування.

**Ключові слова:** місячна база, багаторазовий місячний лендер.

О. І. Бердник, Ю. О. Лысенко,  
М. Д. Калипін, Т. К. Бугаєнко

Pivdenne (Yuzhnoye) State Design Office  
named after M. K. Yangel, Dnipro, Ukraine

#### REUSABLE LUNAR LANDER

Application of reusable systems can essentially increase the efficiency of space transportation, especially in case of using a space-manufactured propellant, the first source of which will be the Moon. Therefore, the top-priority and most important chain of future “near-Moon orbit — Moon” infrastructure will become the space transportation system where the key element will be a Reusable Lunar Lander (RLL). It will ensure cargo and passenger traffic from lunar orbit to the Moon surface and back.

The current paper gives scenarios of RLL application for different design stages and specifies the main requirements for its development. The RLL structure is shown, and the composition of its core technical systems is given. Its propulsion unit will work on propellant produced on the lunar base from in-situ resources, and the on-board systems are optimized in terms of reusability and universality of application, in particular, in cases for delivery of cargo and rotation of lunar base crews. The main characteristics and payload capacity of RLL, composition of the transportation system, and lunar infrastructure used together with RLL are given. The paper also shows the preliminary analysis of the economic efficiency of using the reusable lunar lander in comparison with expendable versions and the prospects of its application.

**Keywords:** lunar base, reusable lunar lander.

<https://doi.org/10.15407/knit2019.05.011>

УДК 629.7.07/.08

А. И. Дорожко<sup>1</sup>, П. Г. Дегтяренко<sup>2</sup>, А. Л. Макаров<sup>1</sup>, В. О. Сидорук<sup>1</sup>, О. М. Венцковский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепро, Украина

<sup>2</sup> Государственное космическое агентство Украины, Киев, Украина

## СВЕРХМАНЕВРЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО

---

*В настоящее время одной из мировых тенденций развития транспортных средств является создание сверхманевренного транспортного средства. В ходе работ, проводимых в этом направлении, специалистами Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля» разработано, изготовлено, испытано и запатентовано колесо новой конструкции, обладающее повышенной грузоподъемностью и двумя степенями свободы движения качением. На базе колеса новой конструкции разработано, испытано и запатентовано сверхманевренное транспортное средство с тремя степенями свободы движения качением. Управление движением производится электронной системой управления с помощью мотор-колес, которые стационарно ориентированы относительно транспортного средства. Отсутствие механического рулевого управления существенно упростило конструкцию ходовой части. Удельная грузоподъемность транспортного средства 1/10. Наличие пассивных колес позволяет создать требуемую грузоподъемность. Полученные технические характеристики позволяют создать многофункциональное, сверхманевренное транспортное средство, которое может найти широкое применение в различных отраслях промышленности.*

**Ключевые слова:** сверхманевренность, мотор-колесо, ходовая часть, грузоподъемность.

---

Современные темпы технического развития предъявляют новые требования к конструкторским разработкам и к технологии проведения работ. Одно из них — необходимость выполнения работ в местах с ограниченным рабочим пространством. В связи с этим инженерная мысль передовых стран мира длительное время была направлена на разработку транспортного средства, которое могло бы перемещаться с грузом по твердой поверхности в любом направлении, как доска по воде (т. е. по трем степеням свободы).

Первые попытки решения указанной проблемы были предприняты в 1970-х гг. в Швеции.

Инженер Бент Илон из города Шеллефтео взял стальное колесо и вместо пневмошины расположил вдоль обода 8 резиновых бочкообразных роликов, закрепив их оси под углом 45° к плоскости колеса. Такие колеса, имея разную скорость вращения, создают разницу величин трения скольжения роликов на опорной поверхности, что создает условия для перемещения транспортного средства в любую сторону.

Американский Военно-морской флот приобрел патент на колесо Бента Илона. Специалисты ВМФ попытались применить данное техническое решение в стесненных условиях авианосца, но из-за наличия трения скольжения отказались от его применения и передали его американской компании «Эйртрак» (см. рис. 1).

---

© А. И. ДОРОЖКО, П. Г. ДЕГТЯРЕНКО,  
А. Л. МАКАРОВ, В. О. СИДУРУК, О. М. ВЕНЦОВСКИЙ, 2019



Рис. 1. Неоколесо компании «Эйртракс»



Рис. 2. Колесо компании «Сегуэй»



Рис. 3. Колесо компании «Хонда»

Впоследствии такое колесо стало известно как неоколесо «Эйртракс». Компания «Эйртракс» разработала различные варианты использования колеса, но в связи с тем, что такие мотор-ко-

леса были очень энергоемки, и их можно было использовать только на идеально ровной и гладкой поверхности, спроса на продукцию с такими колесами не было.

Другая американская компания «Сегуэй» слегка модернизировала конструкцию колеса компании «Эйртракс» (см. рис. 2) в части сегментации бочкообразных роликов. Внешний вид устройства показывает, что конструктивно оно имеет такое же консольное крепление самого колеса и набор роликов на колесе. Следовательно, движение устройства также основано на принципе трения скольжения в комбинации с качением роликов. Практическое применение данного устройства ограничивается теми же причинами, что и для устройства компании «Эйртракс».

Японская компания «Хонда» разработала колесо, указанное на рис. 3, которое имеет две степени свободы движения качением, но их вариант не нашел промышленного применения из-за сложности конструкции и ограниченной грузоподъемности колеса. Оно используется в развлекательных целях.

Немецкая компания «Гольдгофер» и итальянская компания СОМЕТТО специализируются на платформах повышенной маневренности с традиционными колесами, приведенными на рис. 4 и 5 соответственно. Повышенная маневренность достигается за счет синхронного поворота всех колес в диапазоне  $90^\circ$ . Платформы громоздки, металлоемки, а система управления сложная — многоступенчатая. В связи с этим их применение существенно ограничено, а спрос обусловлен отсутствием приемлемой альтернативы.

Для решения задач точного позиционирования при сборке составных частей ракетно-космической техники в монтажно-испытательных корпусах специалистами Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля» разработано колесо новой конструкции [1–3], указанное на рис. 6, которое, в отличие от традиционного колеса, может катиться как вдоль плоскости колеса, так и поперек.

Колесо новой конструкции состоит из роликов-катков, расположенных по периметру колеса на дисках, а оси роликов расположены в плоскости дисков. Диаметр роликов-катков составляет



Рис. 4. Платформа повышенной маневренности фирмы «Гольдгофер»



Рис. 5. Платформа повышенной маневренности фирмы СОМЕТТО

около 30 % диаметра колеса. Транспортное средство с колесом новой конструкции обладает тремя степенями свободы движения в отличие от транспортного средства на базе традиционного колеса.

Кроме того, колесо новой конструкции обладает повышенной грузоподъемностью. Это достигается за счет того, что ось колеса новой конструкции, в отличие от традиционного колеса, устанавливаемого на консольную ось, закреплена с двух концов на опорах колеса, и изгибающий момент, действующий на ось, в восемь раз меньше воздействия на консольную ось.

У колеса новой конструкции привод закреплен на опоре колеса и соединен с осью колеса. Таким образом, мы имеем автономный узел — мотор-колесо с двумя степенями свободы дви-

жения, обладающий повышенной грузоподъемностью (см. рис. 6). Колеса новой конструкции крепятся к транспортному средству неподвижно, так как им не требуется поворотный механизм. Отсутствие консольного поворотного механизма дополнительно увеличивает грузоподъемность ходовой части такого транспортного средства.

Особенность конструкции ходовой части заключается в том, что для управления движением транспортного средства используется парное количество ведущих мотор-колес новой конструкции, минимум четыре (см. рис. 7). Ведущие мотор-колеса в каждой паре располагаются взаимно перпендикулярно друг к другу. Одна пара мотор-колес обеспечивает управляемое движение вдоль оси транспортного средства, вторая —

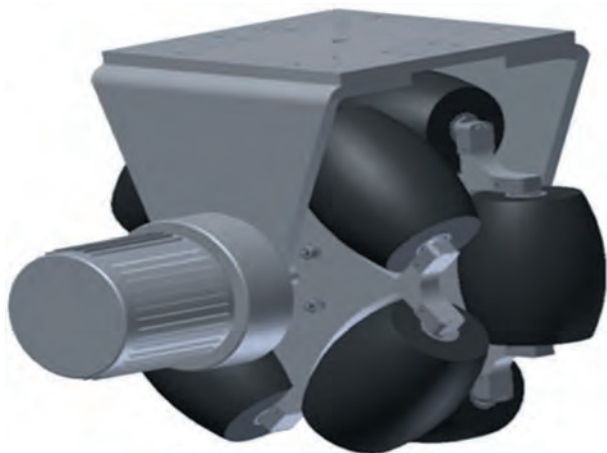


Рис. 6. Мотор-колесо

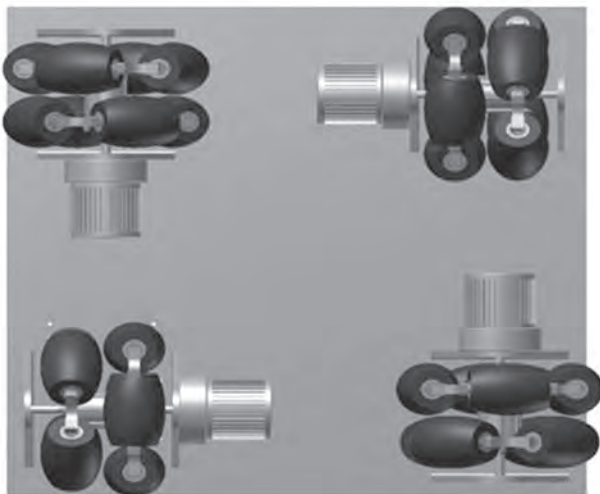


Рис. 7. Схема расположения колес на сверхманевренной ходовой части

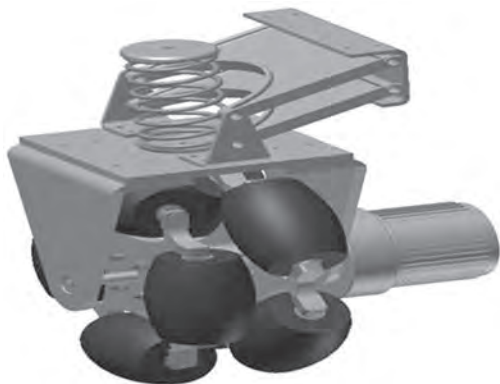


Рис. 8. Мотор-колесо с независимой подвеской

поперек. Такой состав и конструкция транспортного средства обеспечивают три степени свободы движения качением (вперед — назад, влево — вправо, вращение в обе стороны и движение под любым углом, не изменяя своего положения в пространстве).

Колесо новой конструкции совмещает в себе два функциональных колеса. При движении мотор-колеса вдоль плоскости колеса ролики-катки выполняют функцию реверсивного движителя (первое колесо). При движении в поперечном направлении эти же ролики-катки выполняют функцию пассивного колеса (второе колесо), которое движется в режиме буксировки другим мотор-колесом, расположенным перпендикулярно этому пассивному колесу. Режим буксировки пассивного ролика позволяет прокатить его по любому профилю дороги вслед за колесом-движителем.

Специалистами Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля» разработана конструкция независимой подвески, указанной на рис. 8, для колеса с двумя степенями свободы движения качением. Независимая подвеска должна удовлетворять следующим требованиям: выполнять амортизационные функции, сохранять ориентацию и вертикальное положение колеса относительно транспортного средства и держать поперечные нагрузки в диапазоне  $360^\circ$ .

У транспортного средства с новой конструкцией колес грузоподъемность в основном зависит не от транспортного средства, а от несущей способности опорной поверхности. Для обеспечения требуемого удельного давления на опорную поверхность в ходовой части транспортного средства используются дополнительные пассивные колеса.

Рассмотренное выше транспортное средство обладает тремя техническими характеристиками, которых нет ни в одном из известных наземных транспортных средств:

- сверхманевренность (три степени свободы движения качением);
- удельная сверхгрузоподъемность (более чем в восемь раз превышает грузоподъемность ходовой части с традиционным колесом);

- возможность создавать требуемое удельное давление на опорную поверхность за счет пассивных колес, не требующих рулевого управления.

На основании функциональных возможностей сверхманевренной ходовой части предлагаются два варианта исполнения сверхманевренного транспортного средства:

- первый вариант — одна пара колес на балансирах (см. рис. 9);
- второй вариант — каждое колесо на независимой подвеске (см. рис. 10).

Оба варианта конструкции транспортного средства обеспечивают расчетную нагрузку на опорную поверхность всеми колесами.

Первый вариант наиболее адаптирован для проведения работ на подготовленной опорной поверхности в цехах, грузовые платформы рационально выполнять на балансирах, а камерные покрышки роликов-катков малого диаметра заполнять эластичным материалом.

Цеховые грузовые платформы могут перемещаться мускульной силой или с помощью электропривода.

Кинематика сверхманевренной ходовой части на балансирах отработана в Государственном предприятии «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля» на базе погрузчика. При этом использовались вентильные электродвигатели, отличающиеся относительно малым удельным весом на единицу мощности и линейными характеристиками на всем диапазоне скоростей. Электронные коммутаторы вентильных двигателей хорошо согласуются с электронной системой управления. Наличие в составе вентильного двигателя датчика скорости и положения ротора дает возможность задавать скорость движения и величину пройденного пути. Эти характеристики обеспечивают выполнение точного позиционирования транспортного средства на рабочем месте, а электронная система управления позволяет выполнять безграничное количество вариантов движения.

Второй вариант может быть использован для движения по неподготовленным дорогам или грунтовым дорогам произвольного профиля на транспортном средстве с числом ко-



Рис. 9. Ходовая часть на балансирах



Рис. 10. Ходовая часть на независимых подвесках

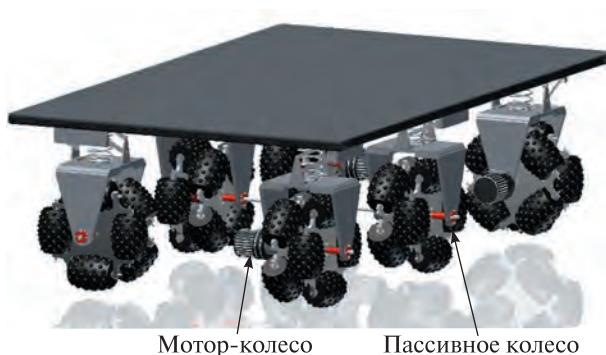


Рис. 11. Луноход

лес больше четырех, у которых ролики-катки оснащены пневматическими камерными покрышками или эластичными наполнителями.

Современные грузовые платформы оснащаются традиционными колесами диаметром 1...1.1 м с шириной протектора 250 мм. При аналогичном диаметре мотор-колеса новой конструкции ролики-катки будут иметь диаметр 300 мм

с опорной шириной протектора до 200 мм и длиной 383 мм.

Покрышка традиционного колеса диаметром 1 м при просадке на твердом грунте на 3.8 см образует опорное пятно площадью  $S = 250 \text{ мм} \times 380 \text{ мм} = 95000 \text{ мм}^2$ . При таких же эластичных характеристиках покрышки ролика у колеса новой конструкции диаметром 1 м площадь опорного пятна составит  $S = 200 \text{ мм} \times 383 \text{ мм} = 76600 \text{ мм}^2$ , что соответствует 80.6 % опорного пятна традиционного колеса.

Следовательно, ходовая часть на базе колеса новой конструкции может эксплуатироваться как на подготовленной опорной поверхности, так и на твердом грунте.

По расчетам опорное пятно колеса новой конструкции на мягком грунте составит около  $128800 \text{ мм}^2$ . Поэтому возможность эксплуатации ходовой части с колесами новой конструкции и с пассивными колесами на целине, на мягком или сыпучем грунте должна быть проверена во время ходовых испытаний, поскольку такое колесо используется впервые.

На основании предварительных расчетов видно, что мы можем создать сверхманевренное транспортное средство широкой сферы применения, у которого дополнительные пассивные колеса обеспечат необходимое удельное давление на опорную поверхность, а также необходимую проходимость.

В частности, для работы на лунной поверхности предлагается транспортное средство нового поколения (рис. 11), которое сориентировано на лунные условия (сыпучий грунт и каменистая почва).

Предлагаемое сверхманевренное транспортное средство для лунной программы имеет платформу  $1 \text{ м}^2$  (для примера), четыре мотор-колеса диаметром 500 мм, у которых по периметру, в виде обода, расположены ролики диаметром 150 мм. Каждый ролик имеет сплошной протектор с коническими шипами, которые увеличивают опорную площадь колеса. Такая форма обода под на-

грузкой изменяет опорную площадь в зависимости от глубины просадки в мягкий или сыпучий грунт. В данном случае расчет проводился исходя из условия: на Земле полезный груз равен 50 кГ, вес транспортного средства равен 50 кГ, общий вес 100 кГ. На Луне общий вес составит 17 кГ.

Исходя из приведенных данных расчет показывает, что при просадке колеса на лунном мягком или сыпучем грунте на 25 мм и нагрузкой на одно колесо  $17/4 = 4.25 \text{ кГ}$ , опорная площадь одного колеса составит  $193.7 \text{ см}^2$ . Удельное давление на опорную поверхность колеса будет  $0.022 \text{ кГ/см}^2$  ( $22 \text{ Г/см}^2$ ).

Следовательно, сверхманевренное транспортное средство будет свободно перемещаться на лунной поверхности, как по сыпучему грунту, так и по каменистой поверхности. В случае увеличения полезного груза можно дополнительно установить требуемое количество пассивных колес.

В настоящее время в мировой практике такой сверхманевренной ходовой части нет, поэтому Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля» является автором и первопроходцем создания такого вида транспорта, который может найти широкое применение не только в ракетно-космической технике, но и в других отраслях промышленности и в сфере развлечений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Декларационный патент № UA 69611 A B62D63/02 от 09.10.2003 г. Самоходное транспортное средство.
2. Заявка № UA aKy201711017 B60B 19.00. D65G 39/00. Погрузчик от 10.11.2017 г.
3. Патент № UA 50127 B60B 19.00 от 09.10.2001. Колесо.

*Стаття надійшла до редакції 06.08.2019*

#### REFERENCES

1. Declaration patent № UA 69611 A B62D63/02 от 09.10.2003. Self-propelled vehicle.
2. Application for invention № UA a201711017 B60B 19.00. D65G 39/00 10.11.2017. The loader.
3. Patent № UA 50127 B60B 19.00 . 09.10.2001. The wheel.

*Received 06.08.2019*



О. І. Дорошко<sup>1</sup>, П. Г. Дегтяренко<sup>2</sup>,  
О. Л. Макаров<sup>1</sup>, В. О. Сидорук<sup>1</sup>, О. М. Вінцовський<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Державне підприємство «Конструкторське бюро  
«Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпро, Україна

<sup>2</sup> Державне космічне агентство України, Київ, Україна

#### НАДМАНЕВРЕНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ

У нинішній час однією із світових напрямків розвитку транспортних засобів є тенденція надання їм надманевреності.

Під час робіт, які проводяться у цьому напрямку, фахівцями Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» створено, виготовлено, випробувано і запатентовано колесо нової конструкції підвищеної вантажопідйомності і двома ступенями свободи руху коченням. На базі колеса нової конструкції розроблено, випробувано і запатентовано надманеврений транспортний засіб з трьома ступенями свободи руху коченням.

Керування рухом здійснюється електронною системою керування з використанням мотор-коліс, які стаціонарно зорієнтовані відносно транспортного засобу. Відсутність механічного рульового управління суттєво спрощує конструкцію ходової частини. Питома вантажопідйомність транспортного засобу складає 1/10. Наявність пасивних коліс дозволяє створити необхідну вантажопідйомність. Одержані технічні характеристики дозволять створити багатофункціональний надманеврений транспортний засіб, який може знайти використання у багатьох галузях промисловості.

**Ключові слова:** надманевреність, мотор-колесо, ходова частина, вантажопідйомність.

A. I. Dorozhko<sup>1</sup>, P. Degtiarenko<sup>2</sup>,  
A. Makarov<sup>1</sup>, V. Sydoruk<sup>1</sup>, O. Ventskovsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pivdenne (Yuzhnoye) State Design Office  
named after M. K. Yangel, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup> State Space Agency of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### SUPERMANEUVERABLE VEHICLE

At present, one of the global trends of vehicle development is the creation of a supermaneuverable vehicle.

During the works carried out in this direction Yuzhnoye SDO specialists have developed, manufactured, tested, and patented a new design wheel with increased carrying capacity and two degrees-of-freedom of rolling motion. A supermaneuverable vehicle with three degrees-of-freedom of rolling motion is developed, tested, and patented based on the new design wheel.

The motion is controlled by an electronic control system using motor-wheels stationary oriented to the vehicle. The absence of a mechanical steering control significantly simplifies the design of the undercarriage. The specific carrying capacity of the vehicle is 1/10. The presence of driven wheels allows you to provide the required carrying capacity.

The obtained technical characteristics allow creating a multifunctional and supermaneuverable vehicle that can be widely used in various branches of industry.

**Keywords:** supermaneuverability, motor-wheel, undercarriage, carrying capacity.

А. В. Кашенкова<sup>1,2</sup>, Н. Є. Калініна<sup>1</sup>, Є. О. Джур<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

<sup>2</sup> Державне підприємство «Південний машинобудівний завод ім. О. М. Макарова», Дніпро, Україна

## РОЗРОБКА ПОШАРОВОГО ЛАЗЕРНОГО СПІКАННЯ ПОРШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

*Впровадження тривимірного друку — важливий етап у розвитку авіабудівної галузі. Адитивне виробництво розглядається як альтернатива фрезеруванню, штампуванню та литву. Використання 3D-принтерів і об'ємного сканування дозволить полегшити літальний апарат, а отже, скоротити витрати на паливо та матеріали.*

*Нержавіючу сталь використовують у всіх сферах діяльності людини, починаючи від харчової промисловості і закінчуючи електронікою і точною механікою. Сталь марки AISI 316 використовується у виробництві устаткування для хімічної промисловості, а також для виробництва виробів, що використовуються в агресивних середовищах, таких як, наприклад, морська вода холодних морів. Антикоровізійні властивості сталі 316L проявляються завдяки наявності на поверхні металу шару оксиду хрому. Цей захисний шар дуже стійкий, і навіть після механічного або хімічного пошкодження швидко набуває свого колишнього вигляду, а антикорозійні якості металу залишаються без змін.*

*Розроблено технологічний процес виготовлення заготовок з порошкового сплаву AISI 316L методом селективного лазерного спікання. У результаті проведених досліджень отримано зразки, досліджено структуру та механічні властивості сплаву, розроблено технологію термічної обробки заготовок. Запропоновано технологію термічної обробки заготовок, яка включає гомогенізацію при температурі 860 °С, гартування від температури 1050 °С і відпуск при температурі 510 °С, витримка 60 хв, охолодження на повітрі. Доведено, що 3D-друк може бути повноцінною заміною лиття по виплавлюваних моделях. Отримано високий комплекс механічних властивостей порошкових сплавів:  $\sigma_{\sigma} = 725$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 395$  МПа,  $\delta_5 = 42\%$ ,  $\Psi = 56\%$ ,  $KCU = 241$  Дж/см<sup>2</sup>.*

**Ключові слова:** 3D-друк, конструкційна сталь, лазер, модель, композиція.

Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку ракетно-космічної техніки є розробка нових технологій швидкого виробництва виробів відповідального призначення [2]. Сутність подібних технологій полягає у пошаровій побудові виробів з порошкового матеріалу на основі САД-моделі, тривимірну геометрію якої описано у цифровому вигляді за допомогою програм твердотільного моделювання. На сьогодні існує цілий ряд технологій виробництва готових ви-

робів на основі різних методів спікання порошкових матеріалів. Метод селективного лазерного спікання, як і пошарове наплавлення, здійснюється в автоматичному режимі, і є більш швидким і економічним.

У порівнянні з класичними методами, адитивний друк знімає виробничі обмеження — можна робити високоточні деталі без попередньої підготовки виробничої лінії, спрощуючи етап прототипування [1, 5, 8].

*Етапи селективного лазерного спікання (direct metal laser sintering — DMLS). Об'єкт формується*

з плавкого порошкового матеріалу (пластик, метал) шляхом його плавлення під дією лазерного випромінювання. Порошкоподібний матеріал наноситься на платформу тонким рівномірним шаром (зазвичай спеціальним валиком), після чого лазерне випромінювання формує на поверхні поточний шар об'єкта, що розробляється. Потім платформа опускається на товщину одного шару і на неї знову наноситься порошкоподібний матеріал. Для зменшення необхідної для спікання енергії температура робочої камери зазвичай підтримується на рівні трохи нижче від точки плавлення робочого матеріалу, а для запобігання окислення процес проходить в безкисневому середовищі.

Але в даний час низку принципів питань, що стосуються зв'язку структури і властивостей цих матеріалів, ще не досліджено [3, 4]. Зокрема недостатньо вивчено зв'язок мікроструктури матеріалу, яка отримується у процесі спікання, з його фізико-механічними характеристиками. У зв'язку з цим метою роботи є визначення режимів лазерного спікання, що забезпечують оптимальне співвідношення основних характеристик міцності і пластичності сталей, отриманих методами пошарового лазерного спікання.

У даній роботі представлено результати досліджень впливу режимів термічної обробки зразків після лазерного спікання зразків нержавіючої сталі AISI 316L на фізико-механічні властивості і структуру. Виготовлення зразків здійснюється послідовно, шар за шаром. Перший шар формується на поверхні спеціальної платформи. Наступні шари — на поверхні попереднього. Після спікання кожного шару платформа переміщується за допомогою крокового двигуна. Величина кроку (шару виробу) може вибиратися від 30 до 100 мкм. Для запобігання окислення і загоряння частинок порошку під час процесу виготовлення виробу робоча камера заповнюється аргоном. Для виготовлення деталі був обраний 3D-принтер типу SLM-500.

SLM Solutions SLM 500 HL — промислова установка для адитивного виробництва металевих виробів методом вибіркового лазерного спікання (рис. 1). SLM 500 HL має камеру великого розміру, що дозволяє створювати великогабаритні моделі розміром  $500 \times 280 \times 325$  мм. Плав-

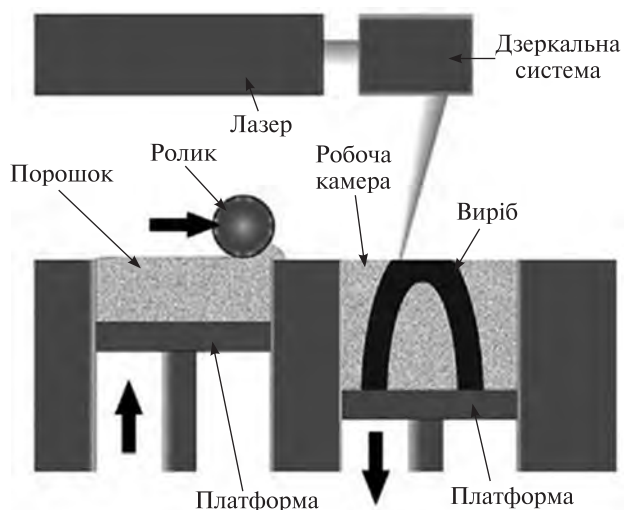


Рис. 1. Принципова схема роботи принтера SLM 500 HL

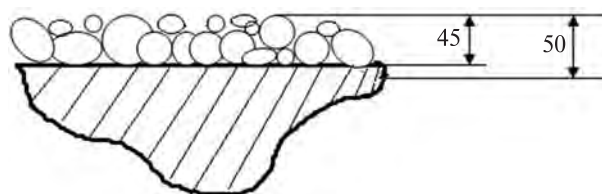


Рис. 2. Схема розподілу шарів у зоні побудови виробу, мкм

лення здійснюється двома лазерами потужністю 400 або 1000 Вт кожен, мінімальна товщина шару, що наноситься, дорівнює 20 мкм. В якості витратних матеріалів можна використовувати порошки з титану, алюмінію, нікелю, сталі та інших металів і сплавів [6, 7].

На відміну від лиття по моделях, що витоплюються, метод селективного лазерного спікання є найбільш технологічним. Це досягається за рахунок того, що 3D-принтер — це універсальний агрегат, на виході з нього отримуємо готову деталь, яка потребує лише фінішної механічної та термічної обробки. Технологія 3D-друку передбачає отримання деталі «вироснуванням» із великої кількості шарів, кожен з яких не перевищує  $45 \pm 2$  мкм, тому отримана деталь має високу щільність. Це можна пояснити наступним чином. Порошок сталі, з якого виготовляють деталь, має дисперсність  $42 \pm 5$  мкм, а глибина проплаву шару дорівнює  $50 \pm 5$  мкм (рис. 2).

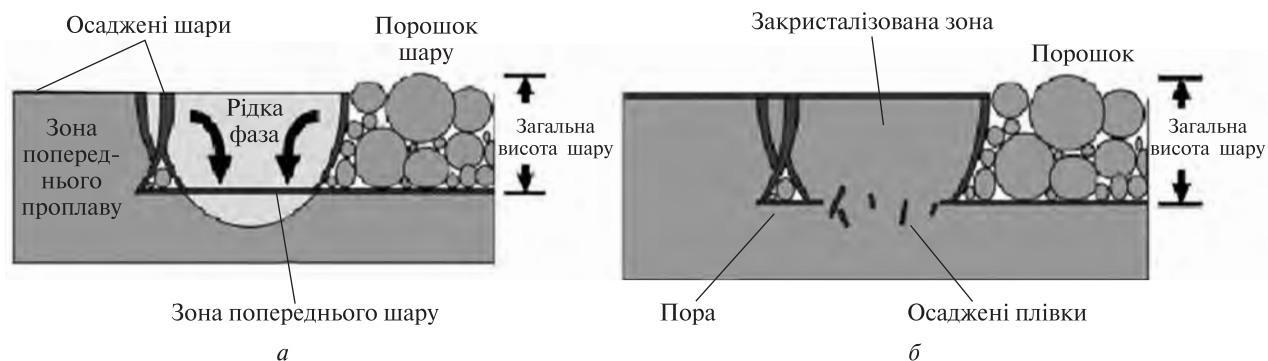


Рис. 3. Схема виникнення дефектів: а — у процесі одиночного кроку фокусу лазера, б — після кристалізації

Тобто, під час друку розплавлення проходить не тільки у шарі порошку, але й у зоні попереднього шару, і, як наслідок, шари спікаються один з одним. Висока щільність деталі пояснює відсутність таких поширених дефектів, як рихлості та усадочні раковини.

Мікроструктура та наявність дефектів одержаних виробів в основному залежать від технологічних параметрів процесу селективного лазерного спікання. Даний технологічний процес характеризується великою кількістю різних технологічних параметрів, та серед них можна виділити основні, які справляють найбільший вплив на кінцеву якість структури виробів. Це потужність лазерного джерела, швидкість сканування лазерного променя і стратегія обробки лазерним променем шарів виробу.

Механізм спікання шарів, при умові вибору правильного режиму та фракції порошку, дозволяє отримувати якісну структуру з 0.01 % мас. пор та інших дефектів. Пори, перекося та інші нещільності виникають лише у випадку недотримання технології спікання. Крім того, якщо задати занижку потужність лазера або крок фокуса лазера, то у структурі спостерігаються такі дефекти, як шаруватість, пори, непролави. Механізм виникнення плівок та пор зображено на рис. 3.

#### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження стала сталь 316L. Область застосування сталі 316L широка завдяки її опору корозії і окисленню, довговічності, високої міцності і пластичності. Вироби зі сталі 316L успішно використовуються не тільки в хімічній, нафтохі-

Таблиця 1. Хімічний склад сплаву 316L

Сплав	Вміст хімічних елементів, % мас.								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Fe
316L	0.015	1.10	0.54	16.48	10.50	2.15	0.038	0.009	Осн.

Таблиця 2. Механічні властивості сплаву 316L

№№ зразків	Напрямок	Механічні властивості			
		$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %
1	Вертикально	598	500	54	64.6
2	«	630	509	51	67.9
3	Горизонтально	745	598	42.2	59.6
4	«	731	599	40.9	56.9

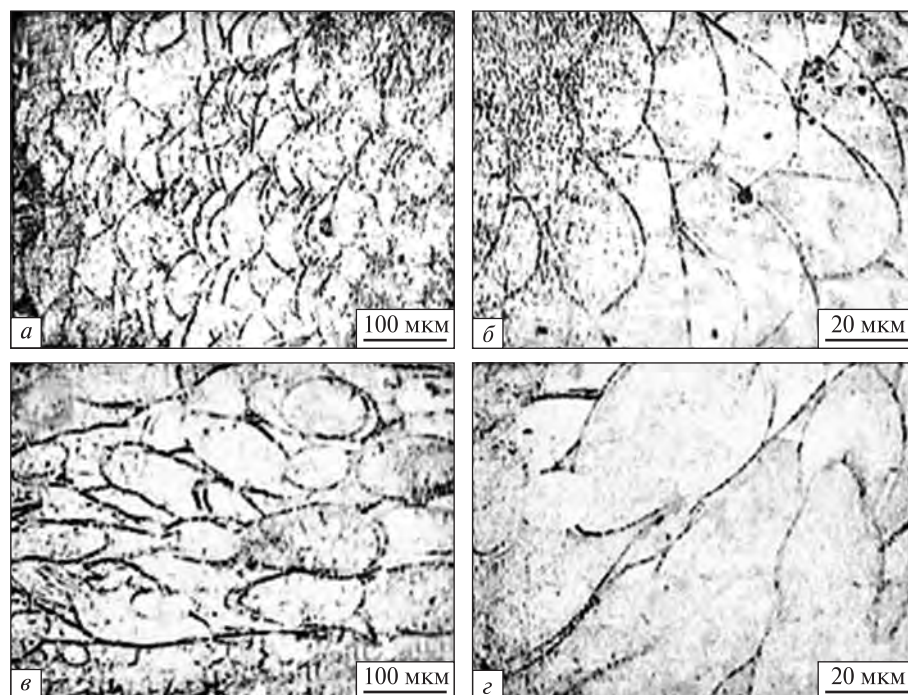


Рис. 4. Структура сплаву 316L: а, б — поперечний переріз, в, з — вздовж площини вирощування

мічний, гірничодобувній промисловості, а і у продовольчому та паперово-целюлозному секторах економіки. Особливе значення сталь 316L має для хірургії та ювелірного виробництва. З неї виготовляють медичні інструменти та ювелірні прикраси. Даний сплав прекрасно підходить для використання там, де необхідний максимальний захист від корозії, наприклад при виготовленні баків для корозійних розчинів, архітектурних споруд, що контактують з агресивними середовищами, труб для харчової промисловості і багато чого іншого.

Хімічний склад перевірявся спектральним методом. Результати аналізу приведені в табл. 1.

Механічні властивості визначалися по ГОСТ 1497 на циліндричних зразках. Результати механічних випробувань приведено в табл. 2.

З приведених даних виходить, що механічні властивості зразків №№ 1, 2 та №№ 3, 4 відрізняються: зразки № 3 та 4 більш міцні та менш пластичні, ніж зразки № 1, 2.

**Термічна обробка деталі зі сплаву 316L.** Перший режим термообробки — нагрівання при температурі  $940 \pm 10$  °С, витримка 25 хв, охолодження на повітрі; відпуск при температурі  $510 \pm 10$  °С, витримка 80 хв, охолодження на повітрі (режим I).

Таблиця 3. Механічні властивості сплаву після різних режимів термічної обробки

№ зразка	Напрямок вирощування	Режим термообробки	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %
1	Горизонтально	Без т/о	649.0	580.0	35.0	57.0
3	«	I	711.7	401.1	38.0	53.5
5	«	II	725.4	395.5	42.0	56.0
2	Вертикально	Без т/о	628.0	455.5	45.2	75.5
4	«	I	641.5	360.0	56.0	60.0
6	«	II	693.3	355.4	56.0	63.0

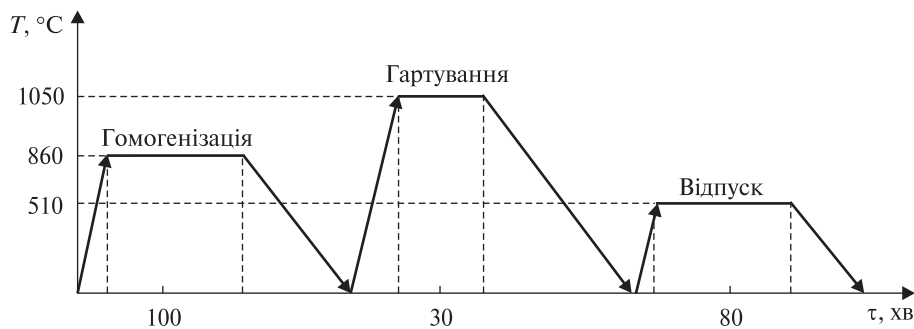


Рис. 5. Схема режиму термічної обробки

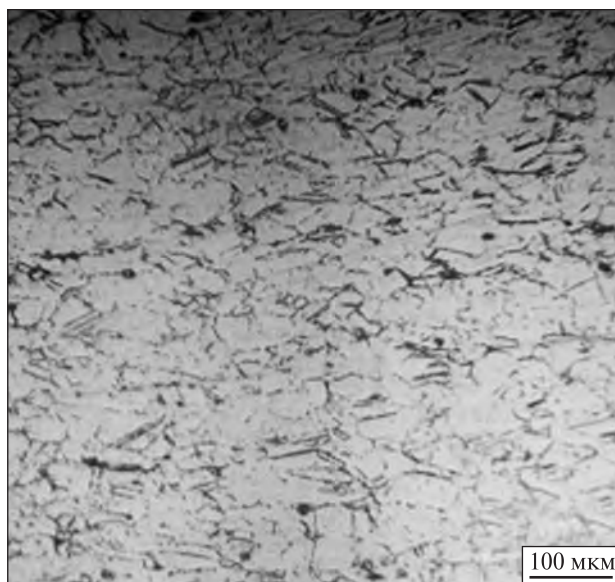


Рис. 6. Структура сплаву 316L після термічної обробки

Другий режим термообробки — нагрівання при температурі  $1230 \pm 10$  °С, витримка 25 хв, охолодження на повітрі; відпуск при температурі  $510 \pm 10$  °С, витримка 80 хв, охолодження на повітрі (режим II).

Для порівняння приведено механічні властивості сплаву без термічної обробки.

Після термічної обробки були проведені механічні випробування, результати яких приведені у табл. 3.

Вид мікроструктури зразків зображено на рис. 4. Дослідження проводилися на протравлених шліфах, виготовлених як уздовж, так і упоперек напрямку побудови зразків, за допомогою світлового лабораторного мікроскопа.

Зразки, оброблені по режиму I, зберегли вигляд формування структури, характерний для поздовжнього і поперечного перерізу, але втратили «дендритність». Так само виявлено хаотично розташовані, тонкі, звивисті і розгалужені мікротріщини довжиною до 0.18 мм

Після термічної обробки по режиму II структура у перерізі вздовж і упоперек напрямку побудови зразків стала практично однаковою, помітні рекристалізовані глобулярні зерна.

Наявність мікроструктурних тріщин показала, що обрані режими I і II не є оптимальними, тому було прийнято рішення про додаткові дослідження отриманих зразків. Випробування цих зразків проводилося за методикою, описаною вище, але з іншими режимами термообробки. Режими термообробки додаткових зразків (режим III):

- гомогенізація при температурі 860 °С, витримка 1 год 40 хв, охолодження на повітрі;
- гартування при температурі 1050 °С, витримка 30 хв, охолодження на повітрі;
- відпуск при температурі 510 °С, витримка 60...90 хв, охолодження на повітрі.

Після проведення кожного етапу термообробки проводилося мікродослідження шліфів: при перегляді мікроструктури після гомогенізації і загартування встановлено, що в них зберігся вид формування структури, характерний для поздовжнього і поперечного напрямку, і більш чітко проявилася кристалічна будова. Тріщин не виявлено.

Отже, рекомендовано саме III режим термічної обробки.

Режим термічної обробки представлено на рис. 5.

Структуру сплаву після термічної обробки показано на рис. 6.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологічний процес виготовлення заготовок порошкового сплаву AISI 316L методом селективного лазерного спікання.

2. Запропоновано технологію термічної обробки заготовок, яка включає гомогенізацію при температурі 860 °С, гартування від температури 1050 °С та відпуск при температурі 510 °С, витримка 60 хв, охолодження на повітрі.

3. В результаті 3D-друку отримано такий комплекс механічних властивостей сплаву AISI 316L:  $\sigma_B = 725$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 395$  МПа,  $\delta_5 = 42$  %,  $\Psi = 56$  %, КСУ = 241 Дж/см<sup>2</sup>.

4. В результаті проведених досліджень доведено, що 3D-друк може бути повноцінною заміною лиття за моделями, що витоплюються.

## ЛИТЕРАТУРА

- Багров В. В., Голованов И. В., Купринов Н. Л. и др. *Основы метода селективного лазерного спекания металл-полимерных порошковых композиций*. Москва: ФИАН-М, 1996, № 14. 19 с.
- Богуслаев В. А., Качан А. Я., Калинина Н. Е. и др. *Авиационно-космические материалы и технологии*. Запорожье, 2007. 383 с.
- Грязнов М. Ю., Шотин С. В., Чувильдеев В. Н. Эффект мезоструктурного упрочнения стали 316L при послойном лазерном сплавлении. *Вестник Нижегородского ун-та им. Н. И. Лобачевского*. 2012. Вып 5 (1). С. 3—50.
- Назаров А. П. Перспективы быстрого прототипирования методом селективного лазерного спекания / плавления. *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2011. Т. 1, № 4. С. 46—52.
- Смуров И. Ю., Мовчан И. А., Ядройцев И. А., Окунькова А. А., Цветкова Е. В., Черкасова Н. Ю. Аддитивное производство с помощью лазера. *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2011. Т. 2, № 4. С. 144—146.
- Шишковский И. В. Синтез функциональных изделий из градиентных материалов методом селективного лазерного спекания. *Перспективные материалы*. 2001. № 5. С. 60—64.
- Hugh Y. (2001). Rapid Prototyping Course. Version 1.0. URL: <http://claymore.Engineer.gvsu.edu/eod/manufact-302.htm/pgfld-510663> (дата звернення: 19.08.2019).
- Zinchenko V. P., Konotop D. I., Sidorenko A. P., Borisov V. V. Information technologies for modeling the layout of a complex technical object. *Information systems, mechanics and control*. 2011. № 6. P. 27—35.

Стаття надійшла до редакції 18.06.2018

## REFERENCES

- Bagrov V. V., Golovanov I. V., Kuprinov N. L. (1996). *Fundamentals of the method of selective laser sintering of metal-polymer powder compositions*. Preprint of FIAN-M, No. 14.
- Boguslaev B. A., Kachan A. Y., Kalinin N. E. (2007). *Aerospace materials and technologies*. Zaporozhye: Motor Sich.
- Gryaznov M. Y., Shotin S. V., Chuvildeev V. N. (2012). The effect of mesostructural hardening of 316L steel with layer-by-layer laser fusion. *Vestnik of the Nizhny Novgorod University named after Yu. N. I. Lobachevsky*, 5(1), 27—50.
- Nazarov A. P. (2011). Prospects for rapid prototyping using selective laser sintering / melting method. *Vestnik MSTU «Stankin»*, 1(4), 46—52.
- Smurov I. Y., Movchan I. A., Yadrojtsev I. A., Okun'kova A. A., Tsvetkova E. V., Cherkasova N. Yu. (2011). Additive production using a laser. *Vestnik MSTU «Stankin»*, 2(4), 144—146.
- Shishkovsky I. V. (2001). Synthesis of functional products from gradient materials by the method of selective laser sintering. *Perspective materials*, No. 5, 60—64.
- Hugh Y. (2001). Rapid Prototyping Course. Version 1.0. URL: <http://claymore.Engineer.gvsu.edu/eod/manufact-302.htm/pgfld-510663> (Last accessed: 19.08.2019).
- Zinchenko V. P., Konotop D. I., Sidorenko A. P., Borisov V. V. (2011). Information technologies for modeling the layout of a complex technical object. *Information systems, mechanics and control*, No. 6, 27—35.

Received 18.06.2018

А. В. Кашенкова<sup>1,2</sup>, Н. Е. Калинина<sup>1</sup>, Е. А. Джур<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

<sup>2</sup> Государственное предприятие «Южный машиностроительный завод имени А. М. Макарова», Дніпро, Україна

#### РАЗРАБОТКА ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Внедрение трехмерной печати — важный этап в развитии авиастроительной отрасли. Аддитивное производство рассматривается как альтернатива фрезерованию, штамповке и литью. Использование 3D-принтеров и объемного сканирования позволит облегчить летательный аппарат, а значит, сократить расходы на топливо и материалы. Нержавеющую сталь используют во всех сферах деятельности человека, начиная от пищевой промышленности и заканчивая электроникой и точной механикой. Сталь марки AISI 316 используется в производстве оборудования для химической промышленности, а также для производства изделий, используемых в агрессивных средах, таких как, например, морская вода холодных морей. Антикоррозийные свойства стали 316L проявляются благодаря наличию на поверхности металла слоя окси-

да хрома. Этот защитный слой очень устойчив, и даже после механического или химического повреждения быстро приобретает свой прежний вид, а антикоррозийные качества металла остаются без изменений.

Разработан технологический процесс изготовления заготовок из порошкового сплава AISI 316L методом селективного лазерного спекания. В результате проведенных исследований получены образцы, исследованы структура и механические свойства сплава, разработана технология термической обработки заготовок. Предложена технология термической обработки заготовок, которая включает гомогенизацию при температуре 860 °С, закалки от температуры 1050 °С и отпуск при температуре 510 °С, выдержка 60 мин, охлаждение на воздухе. Доказано, что 3D-печать может быть полноценной заменой литья по выплавляемым моделям. Получен высокий комплекс механических свойств порошковых сплавов:  $\sigma_B = 725$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 395$  МПа,  $\delta_5 = 42\%$ ,  $\Psi = 56\%$ ,  $KCU = 241$  Дж/см<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** 3D-печать, конструкционная сталь, лазер, модель, композиция.

АА. V. Kashenkova<sup>1,2</sup>, N. Ye. Kalinina<sup>1</sup>, Ye. O. Dzhur<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup> SE «PA Yuzhny Machine-Building Plant named after A. Makarov», Dnipro, Ukraine

#### DEVELOPMENT OF SELECTIVE LASER SINTERING OF POWDER COMPOSITIONS OF CONSTRUCTIONAL STEELS

Three-dimensional printing implementation is an important stage in the progress of the aircraft industry. The ad-

ditive production is considered as an alternative to milling, stamping, and casting. The use of 3D printers and bulk scanning will lighten the design of an aircraft and thus reduce fuel and material costs. Stainless steel is used in all spheres of human activity from the food industry to electronics and precision mechanics. AISI 316 steel is used in the manufacture of equipment for the chemical industry as well as for the manufacture of products used in aggressive environments, such as, for example, seawater in cold seas.

The anticorrosion properties of 316L steel are manifested due to the presence of a layer of chromium oxide on the metal surface. This protective layer is very stable, and even after mechanical or chemical damage, it quickly takes its former form, and the anticorrosive properties of the metal remain unchanged.

The technological process has been developed for the manufacture of billets from AISI 316L powder alloy by selective laser sintering. The workpiece heat treatment technology is proposed, which includes homogenization at 860 °С, tempering from 1050 °С, and tempering at 510 °С for 60 min, cooling in air. As a result, specimens were obtained, the structure and mechanical properties of the alloy were investigated, and the technology of thermal processing of billets was developed. It has been proven that 3D-printing can be a full replacement of investment casting. A high set of mechanical properties of powder alloys has been obtained:  $\sigma_v = 725$  МПа,  $\delta_5 = 42\%$ ,  $\Psi = 56\%$ ,  $KCU = 241$  J/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** 3D-printing, construction steel, laser, model, composition.



<https://doi.org/10.15407/knit2019.05.025>

УДК: 523.3

**А. П. Відьмаченко<sup>1,2</sup>, Л. В. Казанцева<sup>3</sup>, О. В. Мороженко<sup>1</sup>, В. Я. Чолій<sup>1,4</sup>, П. В. Неводовський<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

<sup>3</sup> Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>4</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

## АСТРОНОМІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА МОНІТОРИНГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЕМЛІ З ПОВЕРХНІ ЧИ З ОРБИТИ МІСЯЦЯ І ЇХНІЙ НАЗЕМНИЙ СУПРОВІД

*Сучасний стан розвитку космічної галузі у передових країнах світу підійшов упритул до створення на Місяці постійної бази. Такий дороговартісний проект має передбачати максимальну економічну віддачу і використання корисного наукового завантаження для широкого кола досліджень у різних галузях науки. До наукових місячних програм мають бути включені питання, які неможливо вирішити наземними методами. У роботі подається історична довідка про дослідження Місяця, коротка хронологія таких досліджень і перелік задач, які можна розв'язувати на місячній базі. Розглянуто особливості мінералогічного картування поверхневого шару, можливість використання місячної бази для астрономічних спостережень, проекти розташування обсерваторій на поверхні Місяця, об'єкти для спостережень з місячної поверхні, запропоновано методи таких досліджень. Деякі з досліджень можна буде виконувати, використовуючи спеціальну апаратуру, установлену на запропонованій Державним конструкторським бюро «Південне» для розгортання на Місяці промислово-дослідницькій базі. Однією із задач є дослідження лібрації Місяця за спостереженнями добових і річних треків зір шляхом їхнього порівняння із теоретичними моделями внутрішньої будови нашого супутника. З місячної бази також пропонується провадити фотометричні, спектральні і спектроляриметричні дослідження Землі.*

**Ключові слова:** Місяць, селенологія, астрономічні спостереження, історія астрономії та космонавтики, місячна база, фізична лібрація Місяця, спостереження з місячної поверхні.

### ВСТУП

2019 рік розпочався зі знакової події — вперше в історії людства науковці отримали змогу досліджувати зворотний бік Місяця безпосередньо на його поверхні. 3 січня спускний апарат космічного зонда «Чан'є-4» здійснив м'яку посадку в районі кратера Карман, діаметром 180 км у Басейні Південний полюс — Ейткен. Сам модуль і ровер-місяцехід «Юйту-2» оснащено науковим обладнанням, розробленим фахівцями Швеції, Німеччини, Нідерландів та Саудівської Аравії. А

масштабна китайська програма дослідження Місяця (Chinese Lunar Exploration Program, CLEP), в рамках якої було здійснено цей проект, бере початок з 1998 р. і перейшла вже на другий етап наукових досліджень. У попередньому підготовчому періоді програми відпрацьовувались задачі виведення космічного апарата на селеноцентричну орбіту та побудови тривимірної мапи місячної поверхні для вибору місць посадки. Другий етап передбачає здійснення доставки обладнання у задані райони поверхні Місяця та дослідження фізичних умов у цих місцях і ґрунту на глибині до 100 м. У подальших планах місії — доставка на Землю та дослідження місячного ґрун-

© А. П. ВІДЬМАЧЕНКО, Л. В. КАЗАНЦЕВА,  
О. В. МОРОЖЕНКО, В. Я. ЧОЛІЙ, П. В. НЕВОДОВСЬКИЙ, 2019

ISSN 1561-8889. Космічна наука і технологія. 2019. Т. 25. № 5: 25—75

ту, вибір найбільш оптимального місця для будівництва дослідної станції на місячній поверхні і розгортання самої станції [126, 185, 223, 227]. Ідея створення наукової бази на Місяці має довгу історію і багато різноманітних міжнародних та національних ідей її здійснення. Такий дороговартісний проект передбачає максимальну корисну віддачу та комплексне наукове навантаження для широкого кола досліджень у різних галузях науки [41]. До короткочасних або тривалих наукових місячних програм мають бути включені аргументовані проблемні питання, які неможливо вирішити наземними методами.

### МІСЯЦЬ — СУПУТНИК ЗЕМЛІ. ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

Походження Місяця остаточно не з'ясовано. Найбільш розробленими є три гіпотези. Наприкінці 19 ст. Дж. Дарвін висунув гіпотезу, відповідно до якої Місяць і Земля спочатку склали одну загальну масу, швидкість обертання якої збільшувалася у міру її остигання і стискування; у результаті ця маса розірвалася на дві частини: більшу — Землю та меншу — Місяць. Ця гіпотеза пояснює малу щільність Місяця, утвореного із зовнішніх шарів первісної маси. Однак вона стикається із серйозними запереченнями з огляду на механізм подібного процесу. Крім того, між породами земної оболонки і місячних порід є істотні геохімічні розходження. Зміна поглядів на минуле Землі і критика гіпотези Дарвіна В. М. Лодочниковим змусили вчених шукати інші шляхи утворення Місяця. Гіпотеза захоплення, розроблена німецьким ученим К. Вейцеккером, шведом — Х. Альфвенем і американцем Г. Юрі, передбачає, що Місяць спочатку був малою планетою, яка при проходженні поблизу Землі внаслідок впливу тяжіння останньої, перетворилася на її супутник. Імовірність такої події дуже мала, і, крім того, у цьому випадку варто було б очікувати більшого розходження властивостей земних і місячних порід. Відповідно до третьої гіпотези, яка розроблялася О. Ю. Шмідтом і його послідовниками в середині 20 ст., Місяць і Земля утворилися одночасно шляхом об'єднання й ущільнення великого рою дрібних частинок. Але Місяць у цілому має меншу щільність, ніж

Земля. Тому речовина протопланетної хмари повинна була розділитися з концентрацією важких елементів до Землі. У зв'язку з цим виникло припущення, що першою спочатку сформувалася Земля, оточена могутньою атмосферою, збагаченою відносно легкими силікатами; при наступному охолодженні речовина цієї атмосфери сконденсувалася в кільце планетезималей, з яких і утворився Місяць. Остання гіпотеза на сучасному рівні знань є найкращою.

Зараз небо над Місяцем завжди чорне, оскільки повітря там відсутнє. Із Землі спостерігається тільки видима частина супутника. Місяць обертається навколо Землі по еліпсу; біля перигею він рухається швидше, а біля апогею — повільніше; але навколо осі Місяць обертається практично рівномірно. Внаслідок цього виникає **лібрація** по довготі, і можлива найбільша її величина становить  $7^{\circ}54'$  [50—52]. Завдяки лібрації ми маємо можливість спостерігати із Землі, крім видимого боку Місяця, ще й вузькі смужки території зворотного його боку. Тому із Землі можна побачити до 59 % місячної поверхні. Місяць рухається по орбіті навколо Землі із середньою швидкістю 1.02 км/с. Велика піввісь його орбіти (між центрами Землі й Місяця) складає 384400 км. Внаслідок еліптичності орбіти і збурень відстань до супутника змінюється від 356400 до 406800 км. Період обертання Місяця навколо Землі (сидеричний, зоряний) дорівнює 27.32166 доби, але підданий невеликим коливанням і дуже малій віковій зміні.

Проте еліптичний рух — це лише грубе наближення, і на нього накладаються багато збурень, обумовлених притягуванням Сонця, планет і сплюснутістю Землі. У 20 ст. користувалися теорією американського математика Дж. Хілла, на основі якої в 1919 р. американський астроном Е. Браун розрахував математичні ряди і склав таблиці, що містять широту, довготу і паралакс Місяця; аргументом є час. Площина орбіти супутника нахилена до екліптики під кутом  $5^{\circ}8'43''$  з невеликими відхиленнями. Точки перетину орбіти з екліптикою називаються висхідним і спадним вузлами; вони мають нерівномірний зворотний рух і здійснюють повний оборот по екліптиці за 6794 доби (близько 18 років). Місяць оберта-

ється навколо осі, нахиленої до площини екліптики під кутом  $88^{\circ}28'$ , з періодом, що дорівнює сидеричному місяцю. Унаслідок цього він завжди обернений до Землі одним і тим же боком. Такий збіг періодів осьового й орбітального обертання викликаний тертям припливів, які Земля здійснює в оболонках Місяця.

Форма Місяця близька до кулі з радіусом 1737 км. Детальне визначення фігури Місяця утруднене тим, що на Місяці немає явно вираженої рівневої поверхні, щодо якої можна було б визначити висоти і глибини; крім того, оскільки Місяць обернений до Землі одним боком, то вимірювати із Землі радіуси-вектори точок поверхні видимої півкулі Місяця (крім точок на самому краї місячного диска) можна лише на основі слабкого стереоскопічного ефекту, зумовленого лібрацією. Якраз вивчення лібрації дозволило оцінити різницю головних півосей еліпсоїда Місяця. Полярна вісь виявилася на 700 м меншою за екваторіальну, спрямовану у бік Землі, і також меншою на 400 м від екваторіальної осі, перпендикулярної до напрямку на Землю. Таким чином, Місяць під впливом припливних сил трохи витягнутий у бік Землі. Маса Місяця найточніше визначається із спостережень його штучних супутників і дорівнює  $7.35 \cdot 10^{22}$  кг. Середня щільність Місяця  $3.34 \text{ г/см}^3$ . Майже всі зареєстровані сейсмометрами за вісім років спостережень місяцетрясіння відбулися на видимому боці Місяця. На зворотному боці зареєстровано відомо всього п'ять епіцентрів місяцетрясінь, тоді як на видимому боці їх кілька десятків.

Подібна асиметрія спостерігається і в розподілі по поверхні Місяця основних типів рельєфу: морів і материків. Практично всі темні ділянки — місячні моря — лежать тільки на видимому боці і складаються з темних базальтових лав. Світлі ділянки — материки — займають дві третини видимого боку Місяця, а моря вкраплені в нього окремими невеликими за площею ділянками. Місячний материк старіший, ніж море, і сформувався приблизно 4.5 млрд років тому, а 3 млрд років тому найнижчі його ділянки були затоплені базальтами, що вилилися з надр. Слабке загасання сейсмічних хвиль може призводити до того, що на просторих площах і великих відстанях від епі-

центра можуть відбуватися обвалення схилів кратерів. Падіння на Місяць чотирьох місячних модулів кораблів «Аполлон» і п'яти останніх ступенів місячної ракети-носія «Сатурн-V» показали, що материкова кора охоплює весь Місяць, не розділяючись на окремі «континенти», і лише в деяких місцях вона трохи тоншає та перекривається базальтовими покривами. Під корою до глибини 800 км лежить мантія, в якій, починаючи з глибини 100 км, з'являються ознаки слабкої сучасної активності, що проявляються місяцетрясіннями. Припускають, що Місяць має ядро розміром приблизно 0.2 радіуса Місяця. Швидкість поздовжніх хвиль там також різко зменшується, як і для Землі.

Поверхня Місяця досить темна, її середнє альbedo дорівнює 0.073 [144]. У залежності від фази кількість світла зменшується набагато швидше, ніж площа освітленої частини супутника. Тому коли Місяць знаходиться у чверті, і ми бачимо половину його диска світлою, то він посилає нам не 50 %, а лише 8 % світла від повного Місяця. Показник кольору відбитого місячного світла дорівнює +1.2, тобто він помітно червоніший від сонячного. Не будучи захищеною атмосферою, поверхня Місяця нагрівається вдень до  $+130^{\circ}\text{C}$ , а вночі остигає до  $-170^{\circ}\text{C}$ . Як показали радіоспостереження, ці коливання температури проникають усередину лише на кілька дециметрів унаслідок надзвичайно слабкої теплопровідності поверхневих шарів. Місячні моря, що займають близько 40 % видимої поверхні, — це рівнинні низини, пересічені тріщинами і невисокими звивистими валами; великих кратерів на морях порівняно мало. Багато морів оточені концентричними кільцевими хребтами. Інша, світліша поверхня покрита численними кратерами, кільцеподібними хребтами, борознами тощо. Кратери, менші за 15...20 км мають просту чашоподібну форму; більші кратери (до 200 км) складаються з округлого валу з крутими внутрішніми схилами, мають порівняно плоске дно, більш заглиблене від навколишньої місцевості, часто з центральною гіркою. Кратери на місячній поверхні мають різний вік: від древніх, ледь помітних, сильно перероблених утворень, до дуже чітких в обрисах молодих кратерів, іноді

оточених світлими «променями». При цьому молоді кратери часто перекривають древніші. Ці та інші залежності дозволяють установити послідовність виникнення різних структур на місячній поверхні.

Абсолютний вік місячних утворень відомий поки лише в кількох точках. Проте, використовуючи деякі непрямі методи, можна встановити, що вік наймолодших великих кратерів складає десятки-сотні мільйонів років; а основна маса великих кратерів виникла 3—4 млрд років тому. Розрахунки термічної історії Місяця показують, що незабаром після його утворення надра були розігріті радіоактивним теплом і значною мірою розплавлені, що призвело до інтенсивного вулканізму на поверхні. У результаті утворилися гігантські лавові поля і деяка кількість вулканічних кратерів, а також численні тріщини, уступи тощо.

На поверхню Місяця на ранніх етапах випадала величезна кількість метеоритів і астероїдів — залишків протопланетної хмари, при вибухах яких виникали кратери — від мікроскопічних лунок до кільцевих структур поперечником у багато десятків, а можливо сотень кілометрів. Через відсутність атмосфери і гідросфери значна частина цих кратерів збереглася до наших днів. Про залишковий вулканізм свідчать витікання вуглецевих газів у місячних кратерах, спектрограми яких були вперше отримані Н. А. Козирєвим.

На видимій стороні Місяця кількість кратерів, діаметр яких більший за 1 км, близько 300000. Розміри кратерів становлять від сотень кілометрів до сантиметрів. Біля наймолодших кратерів можна бачити променеві системи — світлі смуги, які розходяться у всі боки. Ці промені можуть бути вторинними утвореннями, породженими осколками метеорита, які утворилися під час вибуху основного центрального тіла. Постійне бомбардування Місяця маленькими метеоритами є причиною того, що вся його поверхня, до 9...12 м углиб, покрита шаром дрібної роздробленої спеченої речовини, що утворили злежану губчасту масу. Цей тонкий шар місячної поверхні називають реголітом. Реголіт є хорошим термоізоляційним матеріалом. Астронавти привезли на Землю близько 385 кг місячних каменів. Багаті запаси заліза, алюмінію і кремнію є непоганим

джерелом будівельних матеріалів. Внаслідок впливу сонячного вітру реголіт насичений нейтральними газами. Серед уламків реголіту знайдені частки метеоритної речовини. За допомогою радіоізоотопів було встановлено, що деякі уламки на поверхні реголіту перебувають на одному місці десятки і сотні мільйонів років. Серед доставлених на Землю зразків зустрічаються породи двох типів: вулканічні (лави) і породи, що виникли за рахунок роздроблення і розплавлення місячних утворень при падіннях метеоритів. Основна маса вулканічних порід подібна до земних базальтів [148]. Очевидно, з таких порід складаються місячні моря.

Таким чином, зразки ґрунту та гірських порід Місяця досить чітко розділяються на дві великі групи — морську й материкову. Морські породи складаються із залістистих базальтів, як ті, що утворюють дно океанів на Землі. Материкові породи складаються з матеріалу, збагаченого сполуками алюмінію, кальцію й магнію, роздробленого метеоритними ударами і зцементованого в єдину масу. Тобто, вони є результатом ударно-вибухової переробки древньої місячної кори на ранніх етапах її геологічного розвитку і не мають аналогів серед земних порід. Вивчення зразків з різних, досить віддалених один від одного районів, дозволило виявити ряд важливих геохімічних особливостей, що різко відрізняють їх як від земних, так і від метеоритних порід [146]. Насамперед це відсутність у місячних зразках води та інших летких компонентів (вуглекислоти, лугів). Тому на Місяці у десятки, а то й у сотні разів менше різновидів мінералів, ніж на Землі; практично відсутні мінерали, що містять воду, а також сильно окислені елементи, оскільки вміст кисню у місячних магмах був дуже низьким [201—203].

#### ХРОНОЛОГІЯ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІСЯЦЯ

До моменту подолання земного тяжіння і початку космічної ери в історії людства лунали лише окремі точки зору про те, що саме варто було б спостерігати астрономам за межами земної атмосфери, і зокрема з поверхні Місяця, і які умови будуть супроводжувати ці спостереження. Так Ю. Кондратюк у 1929 р. вже передбачав необхід-

ність створення місячної бази [7]. Невдовзі після запуску першого штучного супутника Землі інтерес до позаатмосферних спостережень різко зріс. Запуск автоматичної міжпланетної станції (АМС) «Луна-1» до Місяця 2 січня 1959 р. та розширення знань про місячні характеристики стали змінювати коло наукових напрямків місячних досліджень. «Луна-3» (4 жовтня 1959 р.) виконала обліт навколо Місяця та фотографування його поверхні на оберненому від Землі боці протяжністю приблизно  $110^\circ$  за довготою з відстані від 65.2 до 68.4 тис. км. Американська космічна програма «Піонер» (1959–1960 рр.) включала у дослідження радіаційну обстановку навколо Місяця [9].

Пілотована програма «Аполлон» (Apollo program, NASA, 1961–1972 рр.) вивчала, перш за все, умови перебування людини на Місяці. У 1972 р. під час місії «Аполлон-16» на поверхню Місяця було доставлено камеру далекого ультрафіолету та спектрограф, які стали фактично першим астрономічним вимірювальним устаткуванням [220]. Космічні апарати (КА) серії «Рейнджер» (Ranger, 1961–1965 рр.) доставили на Місяць сейсмометри, і у процесі експерименту зіткнення провели перші оцінки внутрішньої будови Місяця за допомогою вивчення проходження сейсмічних хвиль. Космічний апарат серії «Лунар Орбітер» (Lunar Orbiter, 1966–1967 рр.) дозволили виявити місячні гравітаційні аномалії – маскони. КА «Сервейєр» (Surveyor, 1966–1968 рр.), оснащені хімічними аналізаторами, детально вивчали елементний склад місячної поверхні [188]. Космічний апарат «Луна-16» (17 вересня 1970 р.) доставив на Землю перші зразки місячного ґрунту. Космічний апарат «Клементина» (Clementine, 1994 р.) підтвердив наукові припущення про наявність на Місяці води у приполярних областях [158]. Космічний апарат «Лунар Проспектор» (Lunar Prospector, 1998 р.) поточила ймовірний обсяг льоду на північному полюсі Місяця, оцінила його вміст в ґрунті. За результатами вимірювань створено модель гравітаційного поля Місяця з гармоніками до 100-го порядку, що дало можливість точних розрахунків орбіт штучних супутників Місяця [116]. Космічний апарат «Смарт-1» (Small Missions for Advanced Research in Technology,

2003 р.) серед іншого виконав колірну зйомку з високим розділенням поверхні Місяця у слабо освітлених ділянках, провів спектральні дослідження місячної поверхні для картографування мінерального розподілу та пошуків відкладень льоду і твердої вуглекислоти [113]. Космічний апарат «Кагуя Селена» (Kaguya SELENE, 2007 р.) виконав роботи для створення топографічної карти всієї поверхні з розділенням близько 15 км та карти розподілу сили тяжіння на зворотному боці Місяця [148]. Космічний апарат «Чан'є-1» (Chang'e-1, 2007 р.), що розпочав програму досліджень Місяцю Китаєм, виконав за допомогою мікрохвильового випромінювання оцінки глибинного розподілу елементів на Місяці, та вивчав «хвостові» ділянки магнітосфери Землі та плазми сонячного вітру і їхній вплив на Місяць [186]. Індійський КА «Чандраян-1» (Chandrayaan-1, 2008 р.) мав орбітальний модуль і ударний зонд, завдяки спрямованому падінню якого вдалось проаналізувати глибші шари місячного ґрунту [34]. Спільний запуск космічного зонда «Місячний орбітальний розвідник» (LRO, Lunar Reconnaissance Orbiter, 2009 р.) та КА для спостереження і зондування місячних кратерів LCROSS (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite, 2009 р.) був призначений для оцінки небезпечного впливу космічних променів і сонячної радіації на біологічні об'єкти, змін теплого випромінювання протягом доби у межах місячної поверхні і пошуків підповерхневої криги [109]. Зокрема були виявлені поклади водяного льоду, масова частка якого становить 5–10 % речовини, що утворює стіни кратера Шеклтона [55]. Ці КА накопичили інформацію для складання докладних тривимірних карт місячної поверхні і підбирали відповідні до цього місця для майбутніх місячних баз [31, 54]. Однотипні космічні зонди GRAIL-A та GRAIL-B (Gravity Recovery And Interior Laboratory, 2011 р.) були виведені одночасно на орбіту навколо Місяця і мали основним завданням вивчення гравітаційного поля та внутрішньої будови Місяця [231]. Космічний апарат LADEE (Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer, 2013 р.) визначив загальну щільність, склад та мінливість слабкої місячної приповерхневої атмосфери, оцінив розміри, заряди та просторовий розподіл частинок

пилу на орбіті, дослідив фактори, які впливають на стан місячної атмосфери та на можливість проведення астрономічних спостережень з місячної поверхні. А КА «Чан'е-3» (2013 р.) виконав зондування рельєфу та геологічної будови Місяця, здійснив м'яку посадку і вперше доставив на його поверхню телескоп для досліджень близького ультрафіолетового випромінювання та спостережень земної іоносфери.

#### **ЗАДАЧІ, ЯКІ МОЖНА РОЗВ'ЯЗУВАТИ З МІСЯЧНОЇ БАЗИ**

Після місій КА «Аполлон-17» та КА «Луна-24» на багато років настала перерва в запусках до Місяця космічних апаратів, а також різко знизився інтерес астрономів до наземних спостережень. Натомість в середині 1980-х років активізувались роботи з розробки проектів побудови баз на Місяці. Так, в 1984 та 1988 рр. були проведені перші два Міжнародні симпозиуми з проблем місячної бази та діяльності в космосі у 21-му ст., матеріали яких були широко оприлюднені у відповідних виданнях. Про масштабність цих форумів говорить хоча б те, що у другому Симпозиумі взяли участь понад 500 фахівців, які зробили близько 300 доповідей. Тематика цих форумів охоплювала максимально широкі проблеми, які можуть виникнути як при створенні місячних баз та їхньому функціонуванні, так і ті, що стосуються життєдіяльності людини на цих базах, а також постановка наукових і господарських питань. Наведемо перелік можливих астрофізичних і фізичних досліджень з місячних баз.

При наземних спостереженнях деструктивну роль відіграє земна атмосфера. Крім обмеження спектрального діапазону, вона обмежує ще й можливість досягнення високої точності фотометричних спостережень, а також високої просторової роздільної здатності. Якщо перше зумовлене, головним чином, нестабільністю оптичних властивостей атмосфери, то друге — турбулентним тремтінням зображення. Для того щоб уникнути деструктивного впливу земної атмосфери, протягом багатьох років виводяться на земну орбіту оптичні телескопи різних розмірів. Тому місячна база з успіхом може замінити орбітальні обсерваторії, але перед орбітальними те-

лескопами вона має ще й ту перевагу, що є стабільною платформою.

Уже протягом багатьох десятиліть розв'язання багатьох народногосподарських задач [152, 153, 155, 180] вимагає достовірних даних про сонячну активність, а також про напрямки та швидкості переміщення великомасштабних хмарових утворень. В останні роки до традиційних добавились ще й проблеми зміни потужності озонового шару та кліматичних умов у глобальних масштабах, для вивчення причин яких необхідні комплексні дослідження Землі як точкового об'єкту. Тому саме з місячної бази може здійснюватися моніторинг сонячної активності та комплексні дослідження Землі як точки для визначення глобальних змін температурного режиму, газової складової та стратосферного аерозолі. Таким чином, виходячи з актуальності і надзвичайно великого народногосподарського значення проблем глобальних змін клімату і потужності озоносфери Землі, першочерговим вважаємо необхідність проведення дистанційного моніторингу [138, 139, 142—144, 147, 207]:

1) спектральної відбивної здатності інтегрального диска Землі в інтервалі довжин хвиль 200...1500 нм;

2) кількості випромінюваної земною поверхнею теплової енергії в діапазоні довжин хвиль 3...40 мкм;

3) поляризаційних властивостей земної кулі в далекому УФ-діапазоні довжин хвиль.

Аналіз цих даних дозволить відповісти на питання про механізми спостережуваних зараз ефектів глобального потепління і зменшення концентрації стратосферного озону.

Ці експерименти найоптимальніше можуть бути вирішені спостереженнями з поверхні Місяця. Хоча цю проблему можна розв'язати і за допомогою орбітального навколomisячного апарата та апарата, виведеного в одну з лагранжевих точок супутника. Враховуючи вищенаведене, зрозуміло, що для України дуже важливим є відпрацювання самої методики запуску до Місяця штучного супутника та методики наземного супроводження цієї космічної місії.

Дивлячись на перелік наукової апаратури, якою оснащувалися запуснені до Місяця косміч-

ні апарати, можна зробити висновок, що Україна повинна поставити за мету розв'язання таких важливих задач, де ми маємо певний досвід та досвід у виготовленні відповідної наукової апаратури [124, 170, 172, 186, 198—200, 204—211, 209—222].

1. Оскільки актуальною проблемою у вивченні Місяця є мінералогічне картування її поверхні, то ми пропонуємо експеримент поляризаційного картування поверхні Місяця на довжині хвилі 240—290 нм у межах фазових кутів 80—120°. Цей експеримент можна здійснити з орбітальної станції на орбіті Місяця. Сама орбіта має лежати у полярній площині.

2. Дослідження показують, що спектрам Місяця притаманні широкі смуги поглинання, а характер спектральних залежностей відповідає розподілу деталей на чотири морфологічні групи: моря, морські яскраві кратери, материки, материкові яскраві кратери. Саме у спектрах морських яскравих кратерів згадані смуги поглинання проявляються найвиразніше. Вважається, що поглинанню на довжинах хвиль 950 і 2100 нм відповідає хімічна сполука піроксен [189]. Експерименти показують, що довжина хвилі, яка відповідає найменшому значенню залишкової інтенсивності, може слугувати джерелом інформації про кількість піроксена.

Отже, український полярний супутник Місяця має бути оснащений приладами, досвід розробки і виготовлення яких мають українські вчені:

1) камерою з вибраними фільтрами для отримання знімків з необхідною роздільною здатністю;

2) спектрополяриметром і/або фотополяриметром для проведення детального мінералогічного картування поверхні Місяця та для визначення тих фізичних і оптичних параметрів ґрунту супутника, які можуть бути отримані лише з цієї апаратури [140, 141, 155, 208, 214];

3) спектрометром на діапазон, що охоплює смуги піроксену, дані з якого доповнять і розширять відомості, отримані із спектрополяриметром.

Необхідно також продовжити розробку і виготовлення оригінальної спектрополяриметричної апаратури, яку можна використовувати для су-

проводу як українських, так і міжнародних космічних місій до Місяця.

Серед багатьох астрономічних задач, які пропонуються національними та міжнародними проектами, є визначення параметрів фізичної лібрації Місяця, знання яких дозволить побудувати точну теорію фізичної лібрації та сприятиме створенню моделі внутрішньої будови Місяця.

У процесі підготовки проекту «Укрселена» (створення українського полярного супутника Місяця для комплексних досліджень його постійно затінених приполюсних ділянок поверхні) було виконано короткий огляд стану досліджень Місяця на початок 21 ст. в області небесної механіки, динаміки та фігури, геології та мінералогії, фізики поверхні, оптики та взаємодії з довкіллям [23]. У моделі Місяця 2004, описаній на основі аналізу ряду публікацій, зокрема було розглянуто сучасні дані про обертальний рух Місяця, його вільну лібрацію, орієнтацію еліпсоїда інерції в тілі Місяця, гравітаційне поле та динамічні параметри Місяця.

Згаданий аналіз не включав вивчення:

- умов астрономічних спостережень з поверхні Місяця з їхніми особливостями та проблемами;
- пропозицій варіантів астрономічних місячних спостережень різноманітних космічних об'єктів у широкому діапазоні електромагнітних хвиль;
- розвитку методів досліджень фізичної лібрації Місяця;
- пропозицій конструкцій телескопів та іншого устаткування для спостережень з місячної поверхні;
- переваг розміщення спостережних баз на тих чи інших ділянках місячної поверхні.

Доповнюючи та поглиблюючи попередній аналіз, дана робота детальніше розглядає перелічені проблеми для аргументації необхідності проведення астрономічних спостережень на предмет дослідження фізичної лібрації Місяця.

## **МІНЕРАЛОГІЧНЕ КАРТУВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ**

Лабораторні дослідження зразків місячного ґрунту, які були доставлені з дев'яти ділянок місячної поверхні, дозволили визначити їхній мінералогічний склад і показали значні розбіжності цього

складу. Тому постала проблема мінералогічного картування місячної поверхні за даними спектрофотометричних спостережень, коли такі дані для ділянок з відомим мінералогічним складом використовуються як реперні. В основу цих методів було покладено загальновідомий факт, що при взаємодії сонячного випромінювання з твердою речовиною виникають широкі смуги поглинання з такими механізмами формування:

1) оберально-коливальний спектр (як правило, без вираженої оберальної структури), який проявляється для довжин хвиль  $\lambda > 1$  мкм;

2) електронний спектр, зумовлений електронними переходами між електронними орбітальними станами в іонах (інтервал довжин хвиль від 0.5 до 3.0 мкм);

3) перенос зарядів, який виникає внаслідок обміну електронами між сусідніми іонами в кристалах (Fe, Ti, O тощо) та який проявляється зазвичай на довжинах хвиль  $\lambda < 0.8$  мкм.

Внаслідок цього при зміні мінералогічного складу буде змінюватись нахил спектральної відбивної здатності, і з ним — показник кольору. Тому не дивно, що багато дослідників ставили задачу вивчати відмінності значень показника кольору для різних деталей. При спектрофотометричних спостереженнях вибирались в основному ті деталі, з яких було доставлено ґрунт на Землю, та для якого у лабораторних умовах було визначено мінералогічний вміст. Це дозволило виявити кореляційні залежності між вмістом того чи іншого хімічного елемента та показником кольору, які й було запропоновано використовувати для мінералогічного картування. Звернули увагу на те, що найдостовірнішу інформацію про мінералогічний вміст місячних грантів містять дані про інтенсивність відповідних смуг поглинання в інфрачервоній ділянці спектру. Ще один підхід до проблеми мінералогічного картування був запропонований нами, а саме: за даними про значення фазового кута, на який припадає максимальне значення ступеня поляризації (кута Брюстера), можна визначати величину такого фізичного параметра речовини, як дійсна частина показника заломлення [147, 148, 152, 158]. Щоб мінімізувати ефекти багаторазового розсіяння, які «розмазують» значення цьо-

го кута в деякому діапазоні фазових кутів  $\Delta\alpha$ , ми пропонуємо використовувати спостереження в ультрафіолетовій ділянці спектру, у якій, завдяки надзвичайно малій відбивній здатності, ефекти багаторазового розсіяння зведено практично до нуля. Крім того, в цій ділянці спектра більш однозначно визначається значення кута Брюстера. Тут невизначеність вносить мікроструктура поверхневого шару, яка безумовно є набором не сфер, а частинок різних форм з довільними орієнтаціями.

Практично всі орбітальні станції Місяця і опущені на його поверхню модулі було оснащено панорамними камерами, а також різними приладами для дистанційного і контактного зондування поверхні. В докосмічну еру не виключалось припущення, що поверхневий шар ґрунту складається з досить товстого шару пилу. Але вже перша м'яка посадка, яку здійснив модуль космічного апарата «Surveyor 1» в Океан бур, спростувала це допущення. Передані на Землю зображення показали, що доквілля усяєне каменями з розмірами у межах 0.35...50 см. За даними спеціального приладу для визначення густини ґрунту, який було встановлено на модулі КА «Луна-13», та який здійснив м'яку посадку також в Океан бур, густина становила 0.8 г/см<sup>3</sup>.

Всі сейсмометри, які були встановлені на поверхні Місяця членами екіпажів КА «Apollo», реєстрували явища подібні до землетрусів. Зроблено висновок, що рівень сейсмічного шуму на Місяці гранично низький, і більшість сигналів зумовлена падінням невеликих метеоритів (в середньому по 4 на день). Сигнали різко відрізняються від земних, у першу чергу більшою протяжністю. За сім місяців було зареєстровано 160 явищ, у 26 з яких амплітуда (за шкалою Ріхтера) оцінювалась у 1—2 бали. Виявилось, що падіння метеоритів масою близько 1 кг в радіусі 200 км від сейсмометра траплялись в середньому один раз на місяць. Так, за даними аналізу місячних зразків базальту і анортозиту методом Rb/Sr отримано вік від 3.32 до 3.3...4.6 млрд років [187]. Автоматичною міжпланетною станцією «Зонд-3» були передані на Землю спектри місячної поверхні в УФ- та ІЧ-ділянках спектру ( $\lambda = 190...355$  нм та 3.5...3.9 мкм), за якими для УФ-ділянки спект-



ру було оцінено величини альbedo (1...2 % в діапазоні  $\lambda\lambda$  190...285 нм і 3 % в діапазоні  $\lambda\lambda$  310...340 нм).

Оскільки вже з кінця 1970-х років активно стала обговорюватись проблема побудови місячних баз, то з'явилась потреба поряд з картами, які відображають структуру поверхневого шару, побудувати ще й карти його мінералогічного складу. Оскільки поки що нереально побудувати такі карти за даними контактних методів досліджень, то на порядок денний постала розробка достовірних дистанційних методів. Для цього зусилля були спрямовані на знаходження кореляційних зв'язків між оптичними властивостями дифузно відбитого випромінювання поверхневим шаром і його мінералогічним складом. Для цього прислужились численні роботи з дослідження спектральних оптичних властивостей доставлених з Місяця зразків ґрунту в лабораторних умовах. Нагадаємо, що зараз найрозробленішим є метод, який ґрунтується на спектрофотометричних дослідженнях у смугах поглинання піроксену при  $\lambda = 0.95$  і  $2.1$  мкм, а довжина хвилі, якій відповідає найменше значення залишкової інтенсивності, може слугувати показником кількості піроксену.

Крім того, з'ясовано, що нахил спектральних залежностей і відбивна здатність є функціями процентного вмісту в ґрунті скла, багатого іонами  $Fe^{2+}$  і  $Ti^{3+}$ , які є чинниками непрозорості ґрунту. В дійсності застосування цього, на перший погляд надзвичайного простого методу, ускладнюється наступними обставинами. Як виявилось, інтенсивність смуг поглинання залежить не лише від елементного складу поверхневого шару, але й від розсіювальних властивостей (ефект багаторазового розсіяння) нерівностей поверхневого шару і їхніх розмірів.

Поряд зі спектрофотометричним розробляється спектрополяриметричний метод мінералогічного картування місячної поверхні. Так, ми запропонували картування значень дійсної частини показника заломлення з аналізу загальновідомого емпіричного співвідношення між максимальним значенням ступеня лінійної поляризації і нормального альbedo і досить штучним врахуванням внеску одноразового френелівського відбивання. Дещо інший підхід, а саме

використання спектральних значень другого параметра Стокса, також був запропонований нами. Перевага цього методу полягає в тому, що він девальює ефекти багаторазового розсіяння.

Нарешті, перспективним для визначення дійсної частини показника заломлення нам здається використання даних про значення фазового кута, якому відповідає максимальне значення ступеня лінійної поляризації. Оскільки деструктивним тут також є ефекти багаторазового розсіяння, то доцільно використовувати дані в далекій УФ-ділянці спектру, у якій відбивна здатність, як говорилося вище, становить 1...2 %. Тут практично повністю будуть відсутні ефекти багаторазового розсіяння. А тому максимальне значення ступеня поляризації буде припадати на значення фазового кута, яке практично рівне збільшеному у два рази куту Брюстера.

#### **МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МІСЯЧНОЇ БАЗИ ДЛЯ АСТРОНОМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

Проблеми спостережень з місячної поверхні все частіше обговорюються на різноманітних міжнародних та національних конференціях, семінарах, галузевих та фахових нарадах: засіданнях Генеральної Асамблеї МАС, Міжнародного конгресу астронавтики, на Генеральній Асамблеї Комітету з космічних досліджень COSPAR, Міжнародній місячній конференції та багатьох інших. Такі обговорення почались фактично після перших вдалих запусків космічних апаратів до Місяця [33, 130, 131, 183, 194].

В епоху після польотів КА «Аполлон» серйозні дослідження з проблем місячних спостережних центрів розпочалися на I Симпозіумі місячних баз, проведеному у Вашингтоні у 1984 р. Цей симпозіум сформулював кілька нових та інноваційних пропозицій щодо телескопів на Місяці. У 1986 р. у Г'юстоні було проведено семінар, присвячений майбутнім астрономічним обсерваторіям на Місяці. Пропоновані концепції обсерваторії включали моніторинг рентгенівської та гамма-варіабельності, конструктивні вимоги до радіо-, оптичних та ІФ-телескопів. Розгляд названих питань заклав основу для більш детального вивчення і проектування особливостей мі-

сячних астрономічних телескопів [43]. Ця тематика була продовжена у 1991 р. на конференції «Космічні астрономічні телескопи та інструменти» в Орландо (Флорида), яку організувало Товариство Інженерії Фото оптичних інструментів; серед іншого було приділено багато уваги проектам конструкцій телескопів для спостережень з місячної поверхні [32]. На 58-му Міжнародному конгресі з астронавтики 24—28 вересня 2007 р., Хайдарабад (Індія) була схвалена Міжнародна Асоціація Місячних обсерваторій ILOA, яка поставила за мету розробку, реалізацію та експлуатацію багатофункціональної астрофізичних обсерваторій поблизу південного полюса Місяця [63, 65]. Переважна більшість дослідників у своїх доповідях схиляється до думки, що спін-орбітальна еволюція Місяця, його динаміка, гравітаційні та топографічні аномалії чутливі до внутрішньої будови супутника, яка, у свою чергу, потребує міждисциплінарного підходу. Астрометричні та астрофізичні наземні спостереження, теоретичне моделювання, фізичні та хімічні оцінки і методи мають супроводжуватися безпосередніми вимірюваннями з навколomisячної орбіти та з місячної поверхні.

В останні роки проводяться все детальніші обговорення місячних поселень, послідовності їхнього створення та практичних і наукових задач, які вони мають вирішувати. Так, у 2015 р. розпочала роботу серія майстер-класів «Moon Village», організованих European Space Research and Technology Centre (ESTEC) та International Lunar Exploration Working Group (ILEWG) для багатопрофільного кола фахівців з усього світу, щоб обговорити ідеї концепції місячної бази у трьох напрямках: інженерна розробка комплексу, науковий потенціал бази та пошук інвестицій [60, 70, 105]. На 41-й Асамблеї COSPAR, яка мала відбутися в 2016 р. в Стамбулі, Туреччина, але була скасована, Міжнародна робоча група з місячних досліджень (ILEWG) мала представити звіт та рекомендації щодо розробки Міжнародної стратегії освоєння Місяця [69]. Пропонувалася координація між місіями і дорожня карта для майбутньої міжнародної місячної розвідки та використання місячної поверхні. Це має сприяти інформаційній узгодженості, розши-

ренню потенціалу досліджень та ідей, технологічному прориву та отриманню нових знань про супутник Землі.

**Умови спостережень з поверхні Місяця: переваги та проблеми.** Спроби оцінювати особливості астрономічних спостережень з поверхні Місяця робились задовго до реальної можливості їх виконати. Так, К. Ціолковський у повісті «На Місяці», яка була написана у 1887 р. та вперше надрукована у 1892 р., є окремий розділ — «Спостерігаємо Землю з Місяця», в якому у художній формі зроблено науково обгрунтовану спробу уявити, як будуть виглядати і які видимі рухи будуть виконувати різні небесні світила для спостерігача, що перебуває на поверхні Місяця [16].

З початком космічної ери науковці почали детальніше вивчати особливості умов для спостережень з місячної поверхні, складності та переваги проведення таких спостережень. Головні суттєві позитивні моменти місячних спостережень — стабільна платформа для встановлення телескопів та устаткування і відсутність в результатах вимірювань складових, пов'язаних з обертанням Землі (на відміну від наземних спостережень). Фахівці вважають, що перед початком створення місячної бази-обсерваторії має бути здійснена попередня космічна місія для перевірки та поглиблення розуміння місячного навколишнього середовища (наприклад, поведінки пилу без присутності та з присутністю людини) та визначення впливу навколишнього середовища на штучні поверхні та їхні компоненти. Місії-попередники повинні генерувати корисні дані для створення захисної зони навколо об'єктів обсерваторії (стосується запусків транспортних засобів, можливого видобутку корисних копалин, дослідне буріння тощо, які можуть зашкодити роботі обсерваторії) [100].

Місяць не має атмосфери, навколо нього є лише тонка оболонка з газової плазми та пилу, які взаємодіють з місячною поверхнею у наявних полях. Склад оболонки залежить від часу місячної доби — приблизно  $10^4$  мол/см<sup>3</sup> вдень та  $2 \cdot 10^5$  мол/см<sup>3</sup> вночі (для Землі цей показник становить  $2.5 \cdot 10^{19}$  мол/см<sup>3</sup>). Відсутність атмосфери сприяє вивченню небесних об'єктів у всьому діапазоні електромагнітного спектру. Світи-

ла, які можна спостерігати, значно різняться за яскравістю (Сонце, Земля, планети та зорі), їхні спостереження можна провадити навіть вдень. Через відсутність атмосферної рефракції об'єкти можна спостерігати з однаковим успіхом і у зеніті, і біля горизонту, немає радіоперешкод від електричних розрядів в атмосфері.

Але метеоритне та мікрометеоритне бомбардування місячної поверхні може не тільки серйозно ушкодити наукове обладнання, а й змінювати властивості місячної поверхні та ґрунту навколо нього [217], можлива мікроерозія поверхні приладів, зокрема оптики, яка буде викликати її помутніння, внаслідок чого зменшуватиметься світлосила об'єктива.

Дослідження показали, що місячний пил має властивості високої когезійності (легко злипається та утворює грудки) та адгезії (легко налипає на поверхні, які до нього дотикаються) [181]. Це викликає проблему забруднення відкритих оптичних деталей інструмента. Крім того, у складі пилових частинок виявлено залізо, що має залишкову намагніченість, і цей пил здатен впливати на чутливу до магнітного поля апаратуру [56, 123].

Сама місячна поверхня є джерелом електромагнітного випромінювання та корпускул. Корпускулярні потоки містять в собі частинки сонячного вітру, які розсіюються поверхнею, та частинки, що народжуються у самій поверхні в результаті різноманітних ядерних реакцій [77]. Подальше вивчення фізичних властивостей місячного середовища, сприяє проведенню кількісних оцінок впливу несприятливих факторів на заплановані для тривалого розміщення прилади та обладнання, розробляються можливі способи пом'якшення цього впливу або повне його усунення [95].

Створено міждисциплінарні групи, що розробляють концептуальні проекти місячних обсерваторій. Дослідження охоплюють аспекти багатохвильової астрономії, матеріалів та конструкцій, автоматизації та робототехніки, фундаментів та засобів керування, збереження та передачі інформації [72, 97, 214].

Важливим питанням визнається концепція послідовності дій для створення місячної астро-

мічної бази, яка обов'язково має пройти декілька важливих етапів (вибір об'єктів та методів спостережень, залежно від них — вибір місця розташування обсерваторії, дослідження навколишніх умов місцевості, проектування конструкцій з урахуванням умов, наземна адаптація, пошук інвестицій та можливостей об'єднання з іншими науковими або практичними задачами, доставка і монтування, забезпечення зв'язку та каналів передачі інформації, налагодження роботи приладів, спостереження). Потім досліджується процес і послідовність подій, які будуть необхідні для побудови обсерваторії на Місяці [45, 96]. Подолання цих труднощів для організації максимально інформативних астрономічних спостережень пропонували і пропонують у своїх роботах багато спеціалістів та дослідницьких груп [20].

#### **ПРОЕКТИ РОЗТАШУВАННЯ ОБСЕРВАТОРІЙ НА ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ**

Місячний реголіт розглядається одночасно як сприятливе місце для створення спостережних платформ астрономічних обсерваторій, і як можливий матеріал для будівництва конструкцій для устаткування. Місцевість під майбутні спостережні станції повинна обиратись залежно від наукових задач та проектів конструкцій [99]. Критерії вибору місця включають багато важливих параметрів, якими не варто нехтувати [193]. При цьому жоден з обраних районів місячної поверхні не може відповідати всім вимогам. Вже розроблено ряд проектів з науково обґрунтованими місцезонами можливих майбутніх станцій не тільки з врахуванням рельєфу, освітленості, а й широти.

*Екваторіальна зона Місяця* як місце спостережної станції має такі переваги:

- видимість фактично всієї небесної сфери;
- можливість безперервного бачити Землю у полі зору;
- динамічна доступність для зльотів та посадок з мінімальними енергетичними затратами.

Якщо при цьому розмістити базу в районі північного берегу Моря Східного, то астропункт отримає такі додаткові переваги [127]:

- близькість до зворотного боку Місяця з можливістю встановлення приладів, які вимага-

ють прийому або передачі радіосигналів з мінімальними шумами;

- сусідство з геологічно-потенційними районами та вулканічними ділянками, що дасть змогу проводити комплексні наукові дослідження і здешевити проект місії.

Розміщення місячної обсерваторії, наприклад на центральному піку близького до екватора західного кратера Річчолі, має такі ж переваги, при цьому станція буде піднята над місячним горизонтом. Прилегли райони відрізняються геологічним різноманіттям і багаті на корисні копалини. Як варіант також розглядають місце біля підніжжя великого древнього кратера Грімальді поблизу південно-західної межі Моря Східного [128].

**Полярні зони Місяця** почали розглядатись як потенційні місця для спостережень приблизно одночасно з проектами полярних орбітальних Місячних обсерваторій, наприклад проект ESA POLO (Polar Orbiting Lunar Observatory). Створення цього проекту було викликано бажанням перевірити припущення щодо явищ, які періодично відбуваються на Місяці і які виявила свого часу програма «Аполлон». Так, було зафіксовано, що з місячної поверхні спонтанно у певних місцях виходять радіогенні гази. Є припущення, що ці викиди корелюють з іншою видимою місячною активністю, такою як наявність дрібних розломів місячної кори та так званих «місячних перехідних явищ», або LTPs. За однією з гіпотез всі ці типи прояву активності пов'язані з припливною активацією систем розлому, що призводить до поступового осідання масконів і виходу з тріщин газів. Пошук так званих спорадичних «вентиляційних зон» планується проводити за допомогою спеціальних іонних детекторів, що дасть змогу збагатити знання про місячну геофізику.

У проекті заплановано також створення місячної приполюсної платформи для відстеження орбіти приполюсного супутника [98]. До переваг розміщення обсерваторії у кратері на одному з полюсів відносять постійну темряву у цих ділянках. Розробляються методи, необхідні для впровадження та експлуатації такої обсерваторії, обговорюється планування встановлення набору спостережних приладів [39]. В одному з проектів місячного дзеркального телескопа (LLMT) про-

понується встановлення на полюсі велетенського інструмента з рідким дзеркалом діаметром від 20 до 100 м [35]. Такий телескоп, обладнаний спектроскопом для інфрачервоних досліджень, може зробити значний прорив у вивченні далекого Всесвіту, включаючи формування перших зірок та їхнє об'єднання в галактики. Було виготовлено відповідну модель рідкого дзеркала, що обертається на надпровідникових підшипниках. Відбивні сріблясті покриття, необхідні для створення інфрачервоних дзеркал, були нанесені на поверхню рідини при температурі 80 К. Також потребує вивчення питання осідання пилу на оптику *in-situ*.

Місця, розташовані на відстані декількох кілометрів від полюса, є кращими для покриття глибокого неба, і дозволять мати тривалий час інтеграції за допомогою простого обертання інструмента.

Південний полюс Місяця може бути найбільш реальним місцем для першого низькочастотного інтерферометричного масиву. Частина електромагнітного спектра нижче 30 МГц залишається єдиним невизначеним вікном в астрономії через значні радіоперешкоди Землі. Щоб уникнути подібних проблем, у деяких проектах розглядається зворотний бік Місяця як місце для базування масивів радіоантен. Однак така обсерваторія навряд чи стане реальністю, доки не буде знайдено можливість здешевити доступ до місячної віддаленої півкулі. Тому вироблено потенційно доступну концепцію обсерваторії для проведення первинного дослідження неба на дуже низьких частотах поблизу південного полярного району Місяця.

Як місце під обсерваторію пропонується ділянка гори Малаперт, її можливості забезпечення радіотиші були підтверджені з використанням чисельного моделювання. За проектом на цій ділянці можна розгорнути прості радіоантени, їхня мала вага не складатиме труднощів перевантаження для будь-якої місії до місячного південного полюса [191, 192]. На південному полюсі пропонується створити спеціальну криогенну обсерваторію для ІФ-спостережень астрофізичних об'єктів та потенційно небезпечних астероїдів та комет. Південний полюс дає можливість бачити

лише половину всієї небесної сфери, але вона включає галактичний центр та багато інших цікавих об'єктів. Телескопи можуть спостерігати той чи інший об'єкт, поки це буде потрібно, забезпечуючи можливості моніторингу для транзитних або радіальних пошуків екзопланет [40].

**Розміщення наукової бази на зворотному боці Місяця та інші проекти** розглядаються як варіанти об'єднання різних міждисциплінарних задач. Можливість поєднати в одному місці обсерваторію з великими радіо- та оптичними інструментами, засоби зв'язку, житло, сейсмічне обладнання дає багато переваг такому проекту. Є також проекти, які планують одночасно поєднати в собі всі можливі місця розміщення, об'єднавши їх в одну науково-спостережну мережу. Так, амбітний проект «Обсерваторія місячних кутів» (LLO), розрахований на тривалу програму від робототехнічних місій до постійних місячних поселень, передбачає наявність у мережі роботизованих телескопів, локальної мережі інтернету, багато невеликих телескопів, спільні інтелектуальні телескопічні пристрої швидкого наведення, оптичні інтерферометричні системи, геофізичне та сейсмічне обладнання [129].

Встановлення обладнання передбачається на обох полюсах, в районі екватора та на зворотному боці Місяця. Головним завданням проекту вбачається дослідження і попередження земних природних катастроф, астероїдної, кометної небезпеки та інших негативних чинників навколоземного простору.

#### **ОБ'ЄКТИ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ З МІСЯЧНОЇ ПОВЕРХНІ ТА ЗАПРОПОНОВАНІ МЕТОДИ**

Практична відсутність атмосфери на Місяці та мала сила тяжіння сприяють оптичним астрономічним спостереженням з встановленням телескопів великих апертур та схем і конструкцій, неможливих в земних умовах. Дослідження тіл Сонячної системи та віддалених об'єктів у межах Галактики і поза ними з місячної поверхні виглядають більш повними та комплексними — значно розширюється діапазон прийому випромінювання за рахунок ділянок, недоступних для наземних спостережень [30, 131]. При цьому

стабільність приймальної апаратури, можливість її жорсткої орієнтації, повільне обертання Місяця значно підвищують точність вимірів попри технічні труднощі, пов'язані зі значними перепадами температур та іншими особливостями умов спостережень з місячної поверхні.

З часів перших згадок про місячну обсерваторію триває накопичення ідей програм спостережень для них. Зі збільшенням інформації про місячні характеристики, розвитком наземної спостережної бази та інформаційних технологій, змінюються і уявлення про об'єкти, методи та задачі місячної астрономії. Побудова окремої місячної обсерваторії чи частини наукового або науково-виробничого комплексу стикнеться з необхідністю вирішення цілого ряду технічних проблем [42, 101]. Спеціальних розробок потребуватимуть технології контролю забруднення, автономного будівництва та електропостачання, нагрівання та охолодження від критичних температур, стабілізації прецизійних структур, виробництва та експлуатації оптики в особливих умовах, конструктивних рішень для великих антен, комунікаційних засобів та управління. Крім того, телескопи для поверхні Місяця повинні бути спроектовані для роботи протягом тривалого часу з мінімальним втручанням людей або роботів.

А. О. Яковкін вважав, що задача визначення місцеположення спостерігача має вирішуватись однією з перших астрономічних задач на поверхні Місяця. У перші ж роки після запуску першого ШСЗ він запропонував для досліджень проблем фігури, руху та обертання Місяця запустити навколо нього штучний супутник, а на поверхні Місяця влаштувати спостереження різноманітних небесних об'єктів [25]. Ш. Т. Хабібুলін одним із перших виконав у 1957 р. розрахунки щодо визначення координат на місячній поверхні з астрономічних спостережень. Розробляти питання методики астрономічних спостережень з поверхні Місяця, зокрема способів визначення селенографічних координат пунктів спостережень, розпочав А. О. Яковкін, про що він відзвітував на 15-й астрометричній конференції [26].

На наступній, 16-й астрометричній конференції вже доповідався попередній стан робіт з розробки формул і методів місячної практичної астрометрії.

Група дослідників ставила собі за мету аналіз та відбір методів визначення широти та довготи спостерігача на поверхні Місяця та підготовку відповідних ефемерид та таблиць. При цьому враховувалась максимальна можливість впровадження у процес спостережень автоматики та телемеханіки [158]. На вибір методики вплинув факт повільного добового обертання небесної сфери для спостерігача на місячній поверхні. Саме тому меридіанні спостереження були визнані непридатними як такі, що потребували багато часу. При цьому способи та інструменти для цієї мети варто застосовувати в залежності від потреб точності. Для миттєвого приблизного визначення місцеположення чи для точних кількодобових спостережень важливо, щоб інструмент був максимально автоматизований і накопичував дані спостережень у пам'яті наукового устаткування та оперативно передавав дані на Землю.

Важливими етапами роботи спостерігача, безпосередньо присутнього в точці спостережень, чи того, хто керує ними дистанційно, є попереднє встановлення інструмента, вибір та налаштування програми спостережень, контроль ходу спостережень, запис та передача даних. Для приблизного визначення координат групою київських астрономів у 1964 р. було підготовлено ефемериди та таблиці для визначення астропунктів на Місяці [28]. Методи визначення приблизних координат на місячній поверхні у 1967 р. пропонував також В. Б. Гуревич. Він розглядав декілька наземних способів спостережень, які можна адаптувати для Місяця:

- визначення широти по полярних зорях — можна виконати швидко з використанням попередньо розрахованих таблиць. Непереборною проблемою в цьому є те, що в районах місячних полюсів на небесній сфері мало яскравих зірок;
- визначення широти по зорях поблизу меридіана, при наявності таблиць це можна робити досить швидко, і обчислень за таких умов майже не потрібно. Проте з причини повільного обертання Місяця, навіть при великій кількості використовуваних зірок, їхні кульмінації відбуваються рідко;
- визначення поправки часу та довготи зі спостережень зенітних відстаней певних зірок по-

близу 1-го вертикалу на Місяці провадити складно, адже потрібна підготовка попередньої програми і отримання значного масиву обчислень;

- метод Павлова, що застосовується для визначення інструментом, який орієнтується за «полярною» (для випадку Місяця) зорею і за моментами проходження зірками меридіана. Для цього потрібно дуже ретельно орієнтувати інструмент; але кульмінації зірок будуть відбуватися дуже рідко, і спостереження займатимуть багато часу; проте одночасно можна визначити ще й широту місця і поправку годинника;

- для спільних визначень можна застосувати спосіб Сомнера (спостереження двох світил); для цього варто підбирати яскраві зорі, Землю, і полярну зорею. Спосіб Сомнера пов'язаний зі спостереженнями великої кількості зірок і знаходженням координат місця графічним методом

- для визначення азимута місцевого предмета провадяться вимірювання горизонтального кута між предметом і полярною зорею. Або ж визначають азимут спеціальної міри, яка встановлюється у вертикалі полярної, та вибраним місячним предметом;

- зорієнтувати інструмент по полярній зорі за допомогою таблиць та виміряти горизонтальний кут на вибраний предмет.

При цьому основною трудностю є те, що при таких визначеннях «полярною» зорею будуть слугувати різні зорі, оскільки полюс Місяця описує на небесній сфері коло з кутовим діаметром близько  $3^\circ$ . Для них необхідно буде розрахувати спеціальні таблиці. В. Б. Гуревич, наприклад, вибрав 22 таких зорі з зоряними величинами  $3.3...5.9^m$ . Замість «полярних» можна використовувати ще й пари зірок, приблизно однаково віддалених від полюса. Можна також використовувати спостереження Землі; її горизонтальні координати будуть майже незмінними, а селеноцентричні екваторіальні координати будуть швидко змінюватися. Тому у кожній точці на місячній поверхні буде два малорухомих об'єкти — це «полярна» і Земля; цього буде достатньо, як вважає В. Б. Гуревич, для визначення їхніх селенографічних координат. Точно знати час при цьому необов'язково. В. Б. Гуревич також запро-

понував перелік необхідних даних та таблиць для місячного щорічника.

**Важливим об'єктом спостережень з місячної поверхні має стати Земля:** синоптичні карти, метеорологічні зміни, моніторинг стану океану та атмосфери [182], збурення магнітного поля та інші дані можуть забезпечити спостереження в широкому діапазоні хвильового випромінювання. Перевагою таких спостережень є можливість неперервних довготривалих вимірювань, висока позиційна стабільність, невелике кутове віддалення Землі від Сонця [25, 37, 115]. При цьому одним з найменш вивчених основних параметрів клімату Землі є її альbedo. Ця величина у випадку Землі є двонаправленою змінною, і у відбитому від заданої земної поверхні світлі спостерігається високий ступінь анізотропії.

Зрозуміло, що одночасно спостерігати відбиття від усіх точок Землі неможливо. Тому всі вимірювання, з яких може бути визначено альbedo, вимагають припущень або моделювання, щоб отримати достовірну оцінку. Сьогодні вимірювання альbedo здійснюється регулярно або з супутників низької орбіти, або з наземних вимірювань неосвітленої Сонцем частини Місяця. Але результати цих вимірювань не дають повної інформації. Наявність різних баз даних альbedo Землі та їхнє порівняння можуть допомогти зменшенню невизначеності оцінок цієї величини. Моніторинг змін альbedo Землі з місячної бази сприятиме ще й повнішому розумінню клімату Землі [159].

Великий сонячний телескоп на місячній поверхні зі стабільністю, практичною відсутністю атмосферних перешкод та можливістю довготривалих неперервних спостережень буде надзвичайно ефективним для сонячних досліджень [58, 121, 215]. Доповнений різночастотними приймачами, він дасть значно повнішу картину сонячної активності і дозволить вирішити багато суперечливих питань напрямку.

Зворотний бік Місяця розглядається як найкраще місце для проведення радіоастрономічних спостережень, особливо на частотах 0.05...30 МГц [190]. Наземні радіотелескопи не можуть спостерігати на частотах нижче 10 МГц (довжинах хвиль понад 30 м) через іоносферне поглинан-

ня цього діапазону. Такі спостереження можуть забезпечити можливість моніторингу сонячного і планетного радіовипромінювання, а також пошук магнітосферних викидів від позасонячних планет [106]. Пропонується, наприклад, надзвичайно простий, недорогий дуже низькочастотний радіотелескоп, що складається з великого (приблизно  $15 \times 30$  км) масиву коротких дротів, закладеного на поверхню Місяця. Кожен дріт буде оснащено підсилювачем та дигитайзером і з'єднано з комп'ютером [60, 61, 76]. Телескоп може провадити одночасні багаточастотні спостереження більшої частини видимого неба з високим розділенням у діапазоні довжин хвиль від 10 до 100 м, а також з меншим розділенням у діапазоні від 100 до 1000 м. Він вивчатиме структуру та спектри галактичних та позагалактичних точкових джерел та об'єктів, що дасть детальне квазітривимірне відображення міжзоряної матерії у межах кількох тисяч парсек від Сонця.

Наприклад, проект ALLFA (астрономічний місячний низькочастотний масив антен), здатний вимірювати радіохвилі від астрономічних об'єктів в діапазоні 0.1...30 МГц, передбачає застосування 40 пристроїв, що розгортаються, та центральної станції. Найбільший розмір масиву становить 25 км, що відповідає кутовій роздільній здатності близько 20 мкм на частоті 1 МГц [122]. Розроблено шестиколісний телескопічний ровер, який буде забезпечувати необхідну поверхневу рухливість без необхідності автономної навігації [62].

Місяць може використовуватися як проміжна станція для польотів космічних апаратів до інших планет Сонячної системи і далі [167]. А місячна астрономо-геофізична обсерваторія може використовуватися для вивчення електричного потенціалу та різних полів на Місяці [132]. Це важливо не тільки з точки зору вивчення характеристик самого Місяця, а й для перевірки різних теорій поля, що в земних умовах зробити важко. Реєстрацію гравітаційних хвиль запропоновано здійснювати за допомогою великої спеціальної установки, розгорнутої на місячній поверхні [188].

Місячна поверхня вважається сприятливим місцем для спостережень космічних джерел з

жорстким рентгенівським випромінюванням, які неможливо спостерігати наземними методами [71, 174]. Встановлення на Місяці детекторів ультрафіолетового, інфрачервоного та гамма-випромінювання розширить уявлення про ці потоки, адже на Землі такий рівень не зашумлених потоків отримати вкрай складно [44, 57, 113, 222].

У ряді публікацій розглянуто критерії дослідження джерел нейтрино на Місяці, та обговорюються деякі перспективні джерела-кандидати для спостережень [176]. Зроблено висновок, що детектор нейтрино з масою 1000000 т і більше дозволить вивчати нейтрино в діапазоні енергій від 1 до 1000 ГеВ. Створення такого детектора, ймовірно, вимагатиме наявності значної колонії на Місяці. Великий розмір потрібного пристрою, ймовірно, зробить необхідним локальне крупномасштабне будівництво такого детектора з місячних матеріалів.

Виявлення високоенергетичних космічних і сонячних спалахів нейтронів поблизу місячної поверхні було б можливим при енергії, значно нижчій, ніж для наземної обсерваторії [177]. При низьких енергіях (від 10 до 9 еВ) нейтринний фон різко зменшується нижче рівня, створюваного космічними променями в атмосфері Землі. Через короткий проміжок вільного пробігу (1 м) попередників мезонів від ядерних взаємодій у місячних породах, фон нейтрино буде досить низьким.

Якщо спостерігається нейтринний потік досить інтенсивний, і його спектр досить крутий, то співвідношення сигнал-шум виявиться дуже сприятливим. Цей же детектор можна використати для пошуку нейтринних сплесків від далеких наднових. Основною проблемою є розробка дуже чутливих елементів детектора для транспортування на Місяць. Виявлення нейтрино від наднових зірок забезпечить нове розуміння механізму зоряного колапсу [53, 220].

Також можна запропонувати провадити картографування анізотропії космічного фону для вивчення властивостей раннього Всесвіту шляхом встановлення на Місяці диференційних радіометрів НЕМТ, які охолоджуватимуться до 40 К і спостерігатимуть на трьох частотах від 30 до 90 ГГц [196]. Кутова роздільна здатність передбачається

на рівні 10' на найвищій частоті, що на два порядки краще, ніж вимірював пристрій COBE-DMR. Телескоп буде спостерігати небо від 5 до 30° від місячного небесного полюса шляхом поєднання сканування телескопа та обертання Місяця.

У багатьох публікаціях як подальший розвиток наземної астрометрії розглядається і місячна астрометрія. Тому всі накопичені знання з цієї тематики розширюються на спостереження з місячних станцій [6]. Першою стадією отримання високоточних координат світил з місячної поверхні є підвищення точності визначення параметрів, які характеризують обертання Місяця: положення миттєвої осі обертання Місяця в інерціальній системі координат, переміщення осі обертання в тілі Місяця та кутової швидкості обертання Місяця навколо осі.

Створення аналітичних та числових теорій руху і обертання Місяця базується, зокрема, на знаннях про положення його центра мас відносно фігури та наявності, розміру і складу ядра, вивчення якого безпосередньо на Місяці є проблематичним. Частково роз'язати ці завдання, як зазначається у багатьох сучасних публікаціях, на сьогодні можна із ретельного та детального аналізу фізичної лібрації Місяця. Одним із важливих і дієвих методів дослідження фізичної лібрації є програма спеціальних астрономічних спостережень з місячної поверхні [64].

#### **ВИВЧЕННЯ ЛІБРАЦІЇ МІСЯЦЯ ІЗ АСТРОНОМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗІР**

Лібрацією прийнято називати повільне коливання одного астрономічного об'єкта щодо іншого, навколо якого він обертається. Для Місяця розрізняють два принципово різних типи лібрації: оптичну (або геометричну), яка фактично не призводить до фізичних коливань супутника, а є лише наслідком особливостей його руху та помітна із земної поверхні з причин особливого взаємного розташування планети і супутника, та фізична, яка проявляється в коливаннях Місяця у двох площинах.

Оптична лібрація в довготі є наслідком того, що кутова швидкість обертання Місяця постійна, і період осьового обертання дорівнює періоду його обертання навколо Землі. Орбіта Місяця



має еліптичну форму, причому ексцентриситет місячної орбіти змінюється від 0.044 до 0.072. За рахунок цього максимальне геометричне зміщення об'єктів на місячному лімбі для земного спостерігача сягає  $\pm 7.9^\circ$  у селеноцентричних координатах. Оптична лібрація по широті пов'язана з тим фактом, що вісь обертання Місяця не перпендикулярна до площини його орбіти, а нахил осі залишається постійним. Тому протягом оберту навколо осі Місяць частину часу повернутий до Землі північним полюсом, а частину — південним. В результаті цього зміщення об'єктів місячного лімба по широті у селеноцентричних координатах можуть досягати  $\pm 6.8^\circ$ .

Добова, або паралактична лібрація виникає внаслідок обертання Землі. Спостерігач із земної поверхні може бачити додатково невелику частину місячної поверхні. Паралактична лібрація досягає  $1^\circ$ . Фізична лібрація [175] є реальними коливаннями Місяця навколо його середнього обертання; їхня величина не перевищує  $2''$ . Фізична лібрація тісно пов'язана з відмінностями головних моментів інерції Місяця; точне знання їхніх значень дає можливість оцінити динамічні моделі нашого супутника [219], які, у свою чергу, пов'язані зі знаннями гравітаційного поля та внутрішньої будови Місяця. Розрізняють вільну та вимушену фізичну лібрацію [120].

Історія виявлення та дослідження фізичної лібрації йде в часи давньогрецьких астрономів [3]. Хоча те, що Місяць періодично коливається навколо центра мас, вперше виявив Галілео Галілей у 1637 р., замальовуючи у свій перший телескоп деталі місячної поверхні [10]. Амплітуда коливань була оцінена у  $8^\circ$ , і це дозволяє бачити із Землі майже  $3/5$  поверхні Місяця. Першим почав досліджувати лібраційний ефект Ян Гевелій [8]. З часом було знайдено геометричне пояснення цих коливань, і на кінець 18-го ст. проблема вважалась вичерпаною.

Згідно з трьома емпіричними законами Д. Кассіні, вперше опублікованими у 1693 р. [48], Місяць мав би обертатися рівномірно у прямому напрямку зі швидкістю, яка дорівнює середній швидкості його руху по орбіті. При цьому кут нахилу полюса Місяця до екліптики мав би бути постійною величиною, низхідний вузол еквато-

ра Місяця мав збігатися з висхідним вузлом його орбіти; а полюс місячної орбіти, полюс екліптики та полюс місячного обертання мали б лежати в одній площині. Ці закони описують рух, який серед усіх можливих динамічних розв'язків відповідає мінімуму дисипації енергії за рахунок внутрішнього тертя. Проте спостереження показують, що реальне обертання Місяця відхиляється від законів Кассіні.

Першим припустив наявність у Місяця фізичної лібрації І. Ньютон [156]. Пояснюючи явище оптичної лібрації у публікації 1686 р., він зробив висновок, що Місяць має форму сфероїда, найбільша вісь якого направлена у бік Землі, або до другого фокуса еліпса місячної орбіти; за таких умов земне тяжіння намагається повернути Місяць завдяки лібраційному руху. Причиною лібрації по широті він вважав нахилення місячної осі обертання до площини екліптики. При цьому Місяць розглядався як абсолютно тверде тіло.

Леонард Ейлер у 1746 р. вперше обчислив збурення Місяця і опублікував розраховані на їхній основі місячні таблиці. Лагранжу вдалося довести, що форма Місяця повинна бути еліптичною з найбільшою віссю еліпса, напрямленою у бік Землі, і з найменшою полярною віссю. В 1798 р. Лаплас розв'язав систему рівнянь, що описує обертання супутника, і підтвердив висновки Лагранжа, створивши першу теорію фізичної лібрації Місяця. Після цього почались активні вимірювання фізичної лібрації з астрономічних спостережень зміщень певного кратера в центрі Місяця щодо його лімба. За цими вимірюваннями було точно враховано оптичну лібрацію, а наявний залишок приписано фізичній лібрації. Ефект виявився досить малим (на межі можливостей наземної спостережної астрономії), і з традиційних спостережень його визначити важко.

У вирішенні питань селенодезії основною задачею є встановлення та орієнтування в тілі Місяця координатних площин та поверхні відносності для відліку селенографічних координат і абсолютних висот на місячній поверхні [5]. Побудова селенодезичної системи координат неможлива без встановлення ряду параметрів, які задають систему відносності для точок на місячній поверхні; серед них — параметри референц-

поверхні та положення початкового селенодезичного пункту.

Лейпцигський астроном Хайн, опрацюючи геліометричні спостереження та власні розроблені карти крайової зони Місяця, отримав покращені значення параметрів фізичної лібрації [84, 108]. Ці фундаментальні постійні (за Хайном) з 1917 по 1984 рр. використовувались у багатьох астрономічних щорічниках світу при обчисленні фізичної лібрації. З 1985 р. їх замінили постійні, отримані Козієлом [118, 119]. Відмінні від цих величин отримав Шрутка — Рехтенштамм [178]. У пошуках істинних значень основних параметрів фізичної лібрації  $f$  та  $I$  свого часу було проведено близько 50 варіантів опрацювань окремих та комбінованих рядів наземних спостережень за короткі та довготривалі неперервні часові періоди. І. В. Белькович [2], А. О. Яковкін [24], Ш. Т. Хабібুলлін [13], А. О. Нефедьєв [11], Г. М. Столяров [12] розробляли все нові й нові способи обробки, але їхні результати постійно різнилися.

Вдосконалення теорій фізичної лібрації Місяця активувались у 1970-х роках після отримання результатів лазерної локації кутикових відбивачів, які були встановлені на місячній поверхні. Точність цих вимірів досягла 2–3 см, і це дозволило побудувати теорії фізичної лібрації з точністю 0.01''. Роботи з вивчення явища фізичної лібрації тривалий час велись у напрямку покращення теорії обертання Місяця. Ш. Т. Хабібуллін побудував нелінійну теорію фізичної лібрації Місяця [14]. Згодом почали враховуватись гармоніки вище другого ступеня в розкладах селенопотенціалу [107]. Після відходу від моделі абсолютно твердого тіла в розрахунки почала вводиться в'язкість у місячному тілі [18]. При цьому покращувались чисельні моделі обертання Місяця [47].

Також були розроблені аналітичні теорії з урахуванням гармонік третього порядку в розкладі селенопотенціалу [68, 136, 137]. У цих теоріях коефіцієнти для більшості гармонік різнилися не більш ніж на 0.005'', і опирались на модель гравітаційного поля Місяця [111]. Однак при цьому все ж залишалися розходження, більші за 0.01'', але все ж менші за 0.2'' для критичних (резонанс-

них та з малими знаменниками) членів розкладів. Покращенню теорії фізичної лібрації Місяця [80, 82] сприяло також вивчення гравітаційного поля Місяця за дослідженнями траєкторних вимірювань місячних штучних супутників. За даними лазерної локації Місяця дисипація припливної енергії в супутнику викликає зміщення місячної осі обертання приблизно на 0.26'' [15].

Точні вимірювання сили тяжіння і обертання планет, а також сейсмічні вимірювання мають важливе значення для уточнення внутрішньої будови Місяця. Лише після детального вивчення гравітаційного поля Місяця космічними методами та лазерною локацією з'явилась можливість враховувати гармоніки вищих порядків, від яких, як виявилось, значною мірою залежать компоненти фізичної лібрації. З нових розрахунків було виявлено, що вісь динамічної системи координат Місяця, яка збігається з напрямком його найбільшої осі інерції, повернута щодо середнього напрямку на Землю на 115.3'' у бік зменшення селеноцентричних довгот і на 80.2'' — до півдня. Постійна поправка до нахилу дорівнює  $-9.8''$ . Виявлено також ряд періодичних членів у довготі з періодом близько 6 років.

З'ясувалося також, що з наземних спостережень неможливо розділити значення  $I_0$  та  $\Delta r$ ; визначається лише їхній сумарний ефект — значення нахилу динамічного екватора до екліптики. Тому задача визначення точного значення нахилу екватора Кассіні до екліптики залишається актуальною, оскільки вплив помилки цього параметра не виключається ніяким підбором спостережень та деформує селенодезичну сітку у напрямку до Землі [4].

Параметри фізичної лібрації Місяця продовжують залишатись у центрі уваги фахівців, які вивчають динамічні моделі супутника [150]. Чисельний підхід до побудови теорії фізичної лібрації Місяця дозволяє враховувати багато елементів його внутрішньої стратиграфії, що дає можливість виконати високоточний опис сучасних даних лазерної локації. Аналітичний же метод при такому підході дозволяє розділити вимушену і вільну фізичні лібрації та ототожнити багато тонких ефектів місячного обертання з фізичною природою їхнього походження.

Аналіз лазерних даних дозволив уточнити числові характеристики динамічної фігури Місяця (моменти інерції та коефіцієнти пружності), виявити наявність сильної дисипації обертання, яка може бути викликана не тільки припливним тертям, а й, наприклад, наявністю у Місяця рідкого ядра. Вимірювання, здійснені за допомогою лазерної локації супутника, внесли свій вклад для поліпшення місячних моделей лібрації, включаючи вільну фізичну лібрацію. Досягнутої точності положень у кілька сантиметрів, однак, не завжди достатньо для того, щоб оцінити параметри лібрації з малими амплітудами.

Крім того:

- спостереження для визначення фізичних лібрацій із Землі мають похибки, спричинені земним обертанням та оптичними лібраціями з великими амплітудами;
- лазерна локація Місяця не має чутливості у напрямку, перпендикулярному до осі Земля — Місяць, і тому вона має меншу чутливість до спостережень лібрації навколо осі обертання;
- лазерна локація Місяця із Землі дуже утруднена у періоди нового та повного Місяця;
- амплітуда фізичних лібрацій залежить від невизначеності положення відбивачів на Місяці.

Також стало зрозумілим, що одного методу лазерної локації Місяця недостатньо для визначення параметрів фізичної лібрації, оскільки важко відрізнити фізичні лібрації від набагато більших величин, таких як обертання Землі та оптичної лібрації; крім того, чутливість методу проявляється лише у напрямку лінії візування. Тому немає можливості мати неперервні тривалі спостереження. А отже, необхідно застосувати новий вид спостережень на додаток до наявних, щоб відокремити оптичні і фізичні лібрації, обертання Землі і видалити систематичні помилки. Найкращим методом у цьому випадку вважається можливість організації спостережень безпосередньо з місячної поверхні.

При цьому розробники проектів досліджень фізичної лібрації *in-situ* зазначають, що для отримання достовірних результатів позиціонування телескопа на Місяці має бути довшим, ніж 1 рік, а точність спостережень зір з місячної поверхні повинна досягнути 1 мсд.

## ПРОЕКТИ ТЕЛЕСКОПІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ З МІСЯЧНОЇ ПОВЕРХНІ

У другій половині ХХ ст., після вдалого виконання ряду наукових космічних програм розпочався активний процес обговорення та проектування спеціальних телескопів для проведення спостережень в космічному просторі, і з поверхні Місяця зокрема. Так, наприклад, в 1965 р. науковий комітет космічної науки національної Академії США (SSB) провів велику конференцію-дискусію з питань будівництва космічних телескопів для розміщення їх на низьких і геостаціонарних орбітах, або ж на Місяці. Місячна локація спостережної бази викликала на той час багато питань; до неї повернулись у 1972 р. після завершення місії «Аполлон-17», яка детально дослідила фізичні умови на місячній поверхні [73]. І коли на початку 1986 р. у Хьюстоні знову обговорювали проблему астрономічних спостережень з місячної поверхні [149], то розглядалися вже конкретні напрямки і проекти місячного телескопобудування для певних наукових задач.

Тоді було виділено, як основні, п'ять напрямків розвитку розробок різних типів телескопів для встановлення на Місяці та основні наукові задачі, які можуть на них вирішуватись.

1. **Оптичні телескопи** з великими апертурами (15...20 м) дозволять вивчати формування галактик, далекі квазари та еволюцію і розширення Всесвіту. При цьому можна уникнути багатьох земних технічних проблем, пов'язаних з деформуванням дзеркала від ваги та нестабільністю атмосфери над ним [184]. А оптичні фазово-когерентні інтерферометри з наддовгими базами, встановлені на місячній поверхні, як очікується, будуть мати в сотню тисяч разів краще розділення, ніж подібні інструменти на земній поверхні [38, 42]. Тому вони зможуть слугувати для успішного виявлення планет навколо далеких зір [114], для вивчення проявів поверхневої активності зір, розділення близьких оптичних подвійних, виявлення центрів еліптичних галактик тощо.

2. **Радіотелескопи** типу «антена Аресібо» з розміщенням в умовах низької гравітації у природних кратерах Місяця відкривають широкі можливості для точних радарних вимірювань планет та астероїдів [90, 91, 92], картографування роз-

поділу газу в Чумацькому Шляху, вивчення сонячного вітру. Радіотелескопи з дуже великими масивами антен (типу Very Large Array, VLA) — чудові інструменти для високоточної астрометрії [221, 224]. Радіотелескопи з антенними масивами дуже великої бази (Very Long Baseline Array, VLBA) дають можливість отримати надзвичайно високе розділення, що сприятиме, наприклад, впевненому визначенню постійної Габбла, використовуючи статистичний паралакс позагалактичних мазерів.

А радіотелескопи з масивом дуже низької частоти, встановлені на зворотному боці Місяця, вільному від земних радіошумів, дозволять вивчати еволюцію позагалактичних джерел і вимірювати нетермічне випромінювання від зірок, вивчати низькоенергетичні частинки планет, пульсарів і галактик. Радіотелескопи у міліметровому діапазоні довжин хвиль, вільні від атмосферного затухання, також дозволять виконати картографування ділянок, де утворюються нові зорі в галактиках.

### 3. Інфрачервоні телескопи.

4. **Телескопи для спостережень рентгенівського і гамма-випромінювання**, які затримує земна атмосфера, можуть бути використані для вивчення формування кластерів галактик, рентгенівського фону, чорних дір, нуклеосинтезу наднових зір, прямих викидів з акреційних дисків тощо.

5. **Нейтринні телескопи** з можливістю встановлення детекторів великого об'єму без атмосферного затухання та з високою роздільною здатністю, можуть застосовуватися для вивчення активних галактик, квазарів, пульсарів, зоряних оболонок, нетермічного випромінювання від зір тощо.

Місячна поверхня для всіх типів вищезгаданих телескопів є дуже важливою як стабільна платформа, на якій телескопи можуть працювати тривалий час, на відміну від порівняно короткочасного життя орбітальних пристроїв. Постійна зміна орієнтування телескопа у просторі під час руху космічного апарата, проблеми з доступом до телескопа на орбіті для його модифікації та модернізації — протистоять основним недолікам телескопа на місячній базі, якими є гравітаційне поле Місяця, пряме світло від Сонця та Землі, проблема налипання місячного пилу та

мікрометеорити. Останні недоліки, в принципі, можна усунути технічно.

Крім того, на рубежі століть було запропоновано проекти будівництва телескопів з місячних матеріалів, ряд інших оригінальних конструкцій, і деякі проекти вже почали здійснюватися. У більшості проектів перевага віддається роботизованим та автоматизованим телескопам [169, 170], які будуть працювати незалежно від можливих людських поселень, перспектива створення яких все ще не зовсім зрозуміла. Окремі дослідницькі групи, наприклад японська, вважають, що розпочинати астрономічні спостереження варто з допомогою невеликих інструментів, з апертурою всього у кілька десятків сантиметрів. А надалі поступово, в режимі наукових експедицій можна модернізувати і розширювати можливості таких інструментів [88, 91]. Ця ж група пропонує як першочергову задачу для безперервних місячних спостережень виявлення нових навколосемних об'єктів, особливо небезпечних для Землі з розмірами від 100 м до 1 км [90, 91].

### *Проекти оптичних телескопів на Місяці.*

Оптичні телескопи, як дзеркальні або лінзові з ПЗЗ-приймачами, так і оптичні інтерферометри, багато дослідників називають найкращими інструментами для вивчення зір і зоряних систем. При цьому значною перевагою місячної бази вважається природне кріогенне охолодження апаратури [184]. Перевагою також називається і виконання технічного контролю в сегментних дзеркалах великих за розмірами телескопах в умовах місячної поверхні [73].

Центром космічних польотів Дж. Маршалла (США, MSFC) виконано детальні техніко-економічні розрахунки для розгортання та експлуатації на місячній поверхні оптичних телескопів з розмірами від 1 до 16 м: 1-м місячний ультрафіолетовий телескоп (Lunar Ultraviolet Telescope Experiment LUTE), 2-м місячний транзитний телескоп (LTT), 4-м телескоп експерименту місячного кластера (LCSE), 16-м великий місячний телескоп (LLT). Проекти розгортання кожного телескопа одержали оцінку та детальні вимоги до системи і опції для підтримки технологій, підсистем, транспортування та експлуатації. Також оцінювалися впливи факторів місячного серед-

овища, вибір ділянки під встановлення телескопів, проектні підходи; крім того, були перераховані ключові компроміси. Концепції дизайну і короткий опис систем вплинули на відібрані концепції для подальших розробок у даному напрямку [85–87]. Детально розробляються конкретні аспекти особливостей виготовлення та експлуатації телескопів у місячних умовах, форми дзеркала (можливо навіть квадратного), його товщина та маса, полірування, криогенне ведення, термічне управління, енергосистеми та інші важливі деталі [114].

Те ж саме стосується і питань встановлення оптичних інтерферометрів в умовах місячної поверхні: розраховуються ризики виходу з ладу апаратних комплексів, розглядаються оптимальні матеріали та конструктивні особливості [41, 166]. При цьому прораховуються як сама конструкція інтерферометра і спектр можливих досліджень з ним, так і специфіка спостережень у місячних умовах та їхні переваги над наземними або космічними спостереженнями [164]. Наприклад, для постійного моніторингу параметрів місячної орієнтації, на відміну від місячного лазера, запропоновано невеликий оптичний телескоп спеціальної конструкції LOTT (Lunar Orientation Trinity Telescope), який значно підвищить точність визначення цих параметрів [68, 86].

**Проекти радіотелескопів.** Різноманітність запропонованих проектів радіотелескопів для встановлення їх на Місяці ще ширша, ніж у випадку оптичних телескопів. Дослідників особливо приваблює зворотний бік Місяця, для якого супутник екранує більшість земних радіошумів, даючи можливість фіксувати слабкі радіосигнали від далеких ділянок галактики.

Запропоновано проект величезного радіоінтерферометра, базою для якого слугує відстань між Землею та Місяцем [44, 74, 85, 92] і низькочастотний телескоп особливої конструкції спеціально для роботи в умовах Місяця [221]. Радіотелескопи особливої конструкції зможуть допомогти виявляти сигнали від нових зірок, далеких галактик та чорних дір, які утворилися ще в епоху рекомбінації за спостереженнями випромінювання та поглинання нейтрального водню. Планується, що розміщення такого телескопа на зво-

ротному боці Місяця розширить подібні наземні спостереження програм LOFAR, PAST до максимально можливого динамічного діапазону та покращить точність отриманих радіозображень.

Запропонований телескоп MERIT (Moon-based Epoch of Reionization Imaging Telescope) складається з 10–12 радіальних колін довжиною 1...2 км, кожне з яких має декілька сотень дипольних антен та фідерних ліній, надрукованих на дуже тонкому спеціальному матеріалі, із загальною масою лише 300 кг [104]. Спеціальна конструкція являє собою зручний засіб розгортання тисяч індивідуальних антен і централізованого стискання розподілу базових ліній всього масиву [103]. Радіотелескоп для моніторингу викидів корональних мас Сонця, який також планується встановити на Місяці, проходить попередні наземні випробування на військово-морській дослідницькій лабораторії та в Каліфорнійському технологічному інституті [75].

Один із сучасних проектів радіоспостережень на Місяці пропонує розмістити два радіомаяки на місячній поверхні, а один (чи декілька) — на супутнику навколо Місяця [82]. Відстані між ними пропонується вимірювати методами зворотного VLBI, при яких радіосигнали з різних радіомаяків передаватимуться до антенних систем Землі з використанням орбітальної станції. Оцінки кутів фізичних лібрацій пропонується отримувати з різних розташувань та конфігурацій радіомаяків, які лежать у полярних і/або екваторіальному поясах Місяця. Запланована точність визначення відстаней до радіомаяків складатиме 6...10 см при довжині базової лінії 1700...3400 км. Цього буде достатньо для суттєвого підвищення точності параметрів місячної фізичної лібрації.

**Проекти телескопів широкого діапазону довжин хвиль.** Наступниками космічного телескопу імені Габбла можуть стати розміщені на Місяці телескопи із дзеркалами діаметром від 10 до 16 м, які одночасно прийматимуть випромінювання в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній ділянках спектру та які будуть розроблені відповідно до переваг і вимог місячного середовища. Такі телескопи вимагають відповідного розвитку технологій: їхнє нагрівання та охолодження, ста-

більність конструкції в умовах низької гравітації, особливості оптики, необхідність контролю забруднення, випробування та оцінка, виробництво, встановлення, автономні операції та автоматизоване обслуговування, віддалене керування [169, 170, 198, 222], зв'язок та контроль протягом тривалого часу з мінімальним втручанням людини або роботів — все це має бути передбаченим при створенні місячних телескопів [102, 196]. Наприклад, встановлений на Місяці широкодіапазонний 16-м телескоп з пасивним охолодженням, з дифракційним обмеженням та відповідними діафрагмами допоможе вирішити ряд сучасних астрофізичних проблем, серед яких виявлення планет земного типу, далеких галактик тощо. А якщо розмістити такий інструмент у холодних полярних областях місячної поверхні, то навколишнє фонове інфрачервоне випромінювання буде дуже низьким, і це дозволить приймати слабкі інфрачервоні сигнали [89, 102, 197].

Пасажний телескоп з широким спектром прийому випромінювання, практично без рухомих частин, здатний виконувати моніторинг неба для теплового картографування, фіксації космічних променів, місячного пилу, мікрометеоритних потоків, дослідження вкрай розрідженої місячної атмосфери, стабільності місячного реголіту та сейсмічної активності [134]. Одним із варіантів телескопа для ІФ-спостережень пропонується телескоп з рідким дзеркалом Lunar Liquid Mirror Telescope (LLMT) [29, 112] із запланованими розмірами від 20 до 100 м. Його пропонується встановити поблизу південного полюса і оснастити діафрагмами та спектральними приладами для глибокого інфрачервоного обстеження неба. Місячний телескоп з рідким дзеркалом пробували виготовляти неодноразово з часів І. Ньютона, але з появою можливості його встановлення на місячній поверхні багаторічні спроби стали близькими до завершення [36].

Плани щодо такого телескопа грандіозні: дзеркало діаметром 1 км планується розмістити у широкому кратері на відстані 1 км від південного полюса Місяця. Телескоп використовуватиме рідину як основне дзеркало. На Землі були створені робочі рідкі дзеркальні телескопи з діа-

метром до 20 футів з використанням ртуті як відбивальної рідини. Але виникало обмеження: дзеркало із рідкого металу можна використовувати тільки в зенітних телескопах. З огляду на низьку гравітацію та відсутність атмосфери Місяць буде ідеальним місцем для такого надзвичайно великого телескопа з рідким дзеркалом. Однак замість ртуті були запропоновані інші рідини, включаючи низькотемпературні іонні рідини, які будуть особливо придатні при інфрачервоних спостереженнях. Враховуючи відсутність атмосферного тиску на поверхні Місяця, така рідина повинна мати нульовий тиск пари, щоб запобігти її закипанню [112].

Випромінювання, яке затримує щільна земна атмосфера, також особливо актуально спостерігати з місячної бази. Розробка відповідних телескопів на стаціонарних платформах важлива і своєчасна, але складна у виконанні [78, 151].

Оскільки поглинання ультрафіолетового випромінювання в земній атмосфері значні, то важко отримати зображення Сонця в УФ-діапазоні за допомогою наземного телескопа. Місяць практично не має атмосфери, має порівняно стабільну геологічну будову і мале магнітне поле, є значно зручнішим для таких спостережень Сонця.

Зараз розроблено проект сонячного телескопа [229] на місячній поверхні, який зможе отримувати зображення світила одночасно у трьох діапазонах довжин хвиль: довгохвильовій інфрачервоній ділянці спектру (8...12 мкм), видимій (400...800 нм) та ультрафіолетовій (100...400 нм). Телескоп складається з двох частин: світлоповертальної системи і пристрою для розщеплення випромінювання. Така конструкція ефективно уникає обмеження крайових ділянок спектру, характерного для суто оптичних систем [195]. Проблемою цієї конструкції, як і інших варіантів, є наявність активного місячного пилу, що налипатиме на дзеркальну поверхню [49].

Місячна поверхня забезпечує основи для дослідження космічного пилу. Так, розроблено інструмент для вимірювання впливу частинок на місячну поверхню [78]. Можливість виготовлення телескопа з місячного пилу на місці також розглядається у кількох проектах. Їхня перевага полягає у використанні місцевих ресурсів, складності

транспортування великих та важких конструкцій. Наприклад, зразок 12-дюймового параболічного дзеркала було виготовлено в земних умовах з матеріалу-симулятора місячного ґрунту АТ-1А, змішаного з невеликою кількістю вуглецевих нанотрубок та епоксидною смолою [52, 78].

**Комплексні проекти обсерваторій.** Враховуючи природні умови спостережень, одночасно розташувати повний набір інструментів, що охоплюють весь енергетичний діапазон від м'яких рентгенівських [78] до жорсткого гамма-випромінювання, найкраще на місячній поверхні. Але, залежно від об'єктів спостережень, це може бути або постійно освітлена ділянка Місяця, або ж переважно затінена. Деякі дослідники вважають, що найкращим місцем можуть бути ділянки роздільної межі між ними; тоді, внаслідок лібраційних коливань, зможуть працювати періодично то одні, то інші приймачі; а їхня дислокація в одному місці спрощує проблеми транспортування, керування та обслуговування [133].

Міжнародна асоціація місячних обсерваторій (International Lunar Observatory Association, ILOA), некомерційна міжгалузева організація, метою якої обрано сприяння розширенню знань про Всесвіт шляхом астрономічних спостережень з місячної поверхні, з 2008 р. спільно з партнерами організовує спеціалізовані семінари з питань будівництва спостережних баз на Місяці та координує спільні зусилля у цій галузі. В розробці ILOA знаходяться чотири місячні місії: ILO-1 — полярна місія, ILO-X, ILO-Chang'e 3 Galaxy imaging, ILO Human Service.

Місцем для розташування комплексної обсерваторії ILO (International Lunar Observatory) обрано вершину гори Малаперт (Malapert Mountain), висотою близько 5 км, розташованої поблизу Південного полюса Місяця. В обсерваторії планується встановити невеликий оптичний телескоп, радіотелескоп з двометровою антеною та служби супроводження [66].

Проект місячної низькочастотної астрономічної обсерваторії (Lunar Low Frequency Astronomy Telescope, LFAST), встановлення якої у вигляді радіоінтерферометра з базовою лінією Місяць — Земля, планується, наприклад, використати для радіодосліджень системи Юпітера [93].

Важливою темою сучасних досліджень все частіше називають комплексний моніторинг Землі [80, 138, 139, 142, 143, 146, 147]. Місячні переваги цього напрямку беззаперечні: видимість всієї поверхні Землі одночасно в реальному часі, ділянки місячної поверхні, з яких Землю видно неперервно, можливість спостережень всієї системи хмарового покриву з його змінами, тенденціями та народженням нестабільних утворень тощо [79]. Глобальні зміни на Землі, температурні зміни та викликані ними зміни крижаного покриву і їхній вплив на клімат планети — все це є актуальними задачами для їхнього вирішення з місячних обсерваторій [155, 171, 226].

Так, мультиспектральні зображення були використані як джерело даних для дистанційного зондування води та спостережень Землі з бортових та супутникових систем з початку 1960-х років. Протягом останніх двох десятиліть досягнення у сенсорній технології дозволили зібрати кілька сотень спектральних смуг, або гіперспектральні зображення для дослідження водних ресурсів та рослинності. Продовження подібного спектрального моніторингу з місячної поверхні розширить можливості цього напрямку [222].

## ЧИННІ МІСЯЧНІ ПРОЕКТИ

**Місячний 15-сантиметровий ультрафіолетовий телескоп** (LUT), встановлений на місячній поверхні у 2014 р., виконує постійний контроль змінних зір у ділянці неба з низькою галактичною широтою [46]. Конструкція телескопа з плоским дзеркалом та системою Річі — Кретьєна сприяють збільшенню охоплення смуги спостережень та зменшують загальну довжину самої конструкції телескопа. Перший рік роботи цього роботизованого телескопа показав стабільність системи та високу фотометричну продуктивність [216]. Виконані попередньо підготовчі роботи з астрометричного забезпечення проекту значно підвищили точність визначення положень спостережуваних зір [165]. У 2016 р. команда розробників вже представила перший каталог 86467 зірок на площі майже 2400 м<sup>2</sup> до 16<sup>m</sup> [135]. Крім того, було ретельно досліджено змінну зорю типу Алгол TW Dra. Ці спостереження до-

помогли виявити перенесення маси від вторинного компонента зорі до первинного [125].

**Японський проект ILOM (*In-situ Lunar Orientation Measurement*)** вимірювання місячної орієнтації, є продовженням і другим етапом місії SELENE. Він обіцяє отримання високоточних даних про фізичну лібрацію Місяця безпосередньо з вимірювань на місячній поверхні для виявлення тонких ефектів, пов'язаних з характеристиками внутрішньої будови супутника. Зокрема очікується отримання достовірних оцінок розмірів та еліптичності Місяця, уточнення числових значень коефіцієнтів пружності, параметрів припливної дисипації та дисипації на межі розділення мантия — ядро. Підготовчі роботи вже активно виконуються, а спостереження планується розпочати у 2020-ті роки. За проектом, у місцевості з постійним освітленням буде встановлено оптичний зенітний телескоп або зенітну трубу на зразок тих, що використовуються в наземних умовах для широтних спостережень. Планується виконати неперервні спостереження протягом 450 діб як мінімум [83, 84]. Приймання та реєстрація зображень зір здійснюватиметься на ПЗЗ-матрицю високого розділення, спеціально розроблену для цього проекту. Суть спостережень полягає в отриманні річних траєкторій зір з високою точністю, аналіз яких дає інформацію про різні компоненти фізичних лібрацій, які, в свою чергу, дозволяють виявити параметри для дослідження місячної мантиї та рідкого ядра. Точність вимірів зоряних координат планується не гіршою за 1 мсд. Проект передбачає такі послідовні етапи дослідження:

- створення місячної ефемериди і координатної системи, необхідної для майбутньої місячної обсерваторії;
- моделювання траєкторії руху зірок з причини місячного обертання для різних положень інструмента на місцевості;
- вибір оптимального місця розміщення інструмента;
- спостереження зенітних зірок з невеликим телескопом на високих широтах для отримання лібрації в нахилі, а на низьких широтах — у швидкості обертання.

У рамках співпраці по загальному проекту SELENE та, зокрема, по його етапу ILOM, спів-

робітникам Казанського університету на основі аналітичної теорії фізичної лібрації Місяця вдалося пояснити зміщення динамічної системи координат відносно середньої селенографічної системи залежно від динамічної моделі місячного тіла. Ними ж було розроблено рекомендації для вибору системи координат при вирішенні навігаційних задач як на місячній поверхні, так і в навколomisячному просторі. Комп'ютерне параметричне моделювання майбутніх спостережень проекту дозволить обрати найбільш продуктивні та інформативні режими, періоди та тривалості процесу спостережень.

Використання сучасної теорії місячної лібрації для передобчислень видимого руху певних зірок з місячної поверхні [53] допомагає передбачити і краще зрозуміти різні ефекти у місячному обертанні. Кожен з них має своє власне фізичне пояснення та, одночасно, геометричний прояв у траєкторії руху зірок, що допоможе знайти спосіб їхнього виявлення та зробити кількісні оцінки [160, 218]. Моделювання процесу спостережень виконувалося у припущенні, що телескоп встановлено точно в динамічному полюсі Місяця, а його вертикальна вісь напрямлена точно уздовж головного моменту інерції. Далі в околі прецесійного руху полюсів було відібрано зірки, яскравіші  $12^m$ , обчислено їхні екліптичні координати на період спостережень тривалістю 13 сидеричних місяців та відповідні селенографічні координати з різними параметрами фізичної лібрації Місяця, тобто, розв'язати так звану пряму задачу. Обернена ж задача при моделюванні вирішувала питання визначення невідомих кутів фізичної лібрації зі спостережних положень зірок [157, 161].

Особливістю зоряних треків під час тривалих спостережень з місячної поверхні є той факт, що період прецесії місячного полюса (18.6 р.) є набагато коротшим земного (26 тис. р.), а місячна доба складає 23.7 земних діб. З цієї причини місячні добові паралелі є не замкнутими колами, а утворюють спіралі. При цьому зорі, довгота яких на момент спостережень виявляється меншою, ніж довгота полюса, будуть утворювати на своїх треках своєрідні петлі внаслідок зворотного руху полюса. Виявлено також, що фізична лібрація



впливає на викривлення колової форми спіралей зоряних треків та їхню симетричність.

Дослідники відзначають також, що зоряні треки виявилися дуже чутливими до динамічних параметрів моделі гравітаційного поля Місяця, тобто до його внутрішньої будови. Це дозволяє сподіватись, що проведені спостереження дозволять за розв'язанням оберненої задачі підібрати більш відповідну модель, що буде точно описувати місячну внутрішню будову. Крім того, у проекті попередньо була виконана детальна оцінка переваг і недоліків розміщення телескопа у різних пунктах місячної поверхні та зроблено оптимальний вибір. Зокрема, враховувалось, що в екваторіальних зонах різниця температур між денною і нічною порою велика, що може викликати значну деформацію труби та зашкодити стабільній роботі електронного обладнання. Полярні регіони, хоча й мають більші проблеми з транспортуванням до них наукового устаткування та значно нижчі середньодобові температури на поверхні, але там суттєво менша різниця температур і є можливість ще й спостерігати полярні зірки для точної оцінки трьох компонентів місячної лібрації. Найбільш сприятливим розміщенням телескопа фахівці проекту ІЛОМ визнали район кратера Шеклтон (89.9 S, 0.0 E) з діаметром близько 19 км, розміщений поблизу південного полюса Місяця, освітлений Сонцем приблизно 70 % часу за рік. Це дозволить під час спостережень охопити всі фази та періоди обертання Місяця. Як доводять попередні дослідження, місце розташування інструмента та період спостережень у цьому проекті значно важливіші, ніж апертура телескопа. При цьому кращим початком спостережень названо початок полярного літа [224].

#### **ПРОПОЗИЦІЇ ДО УКРАЇНСЬКОГО ПРОЕКТУ МІСЯЧНОЇ СПОСТЕРЕЖНОЇ БАЗИ**

Міжнародну робочу групу з вивчення Місяця (ILEWG) було створено в 1995 р. у Гамбурзі (Німеччина). Згідно з її статутом розроблено міжнародну стратегію з вивчення Місяця та обговорено питання координації різних місій, що сприяє обміну інформацією для отримання нових нау-

кових і розвідувальних даних про Місяць. А в 2016 р. було опубліковано черговий звіт та вироблено рекомендації на майбутнє. Зокрема підкреслюється, що останні проведені місії SMART-1, «Кагуя», «Чан'є-1» та «Чан'є-2», «Чандраян-1», LCROSS, LRO, GRAIL, LADEE, «Чан'є-3», як і нові розроблені та запроектовані місії, сприяють значному поповненню знань про природу і фізичні властивості супутника Землі. Науковий аналіз результатів сприяє підтримці розвитку та плануванню майбутніх місій. Серед важливих проблемних питань виділено ряд напрямків досліджень внутрішньої будови та поверхні Місяця, точного картографування, можливостей навігаційного та ретрансляційного забезпечення, особливостей зворотного боку Місяця. У рекомендаціях наголошується, що наукові розробки варто провадити комплексно, і будь-яка спеціалізована місія повинна водночас включати широкий набір наукового обладнання для різноманітних досліджень.

**Обґрунтування можливостей та потенціалу.** Українські фахівці мають досвід підготовки спостережних місячних місій як у самостійних національних проектах (наприклад проект «Укрселена» [21, 116, 179]), так і у міжнародних: програма НАСА «Есплорейшн», китайський проект «Чан'є-3» [93, 94, 228], південнокорейська місячна програма [93] та інші [117]. Український полярний супутник Місяця «Укрселена» має виконати комплексні дослідження місячної поверхні. Проект передбачає встановлення на ньому приладів, які розробляються у наукових установах України: радарні із синтезованою апертурою зображень, який робитиме глобальні знімки поверхні Місяця у міліметровому діапазоні, спектро- і фотополариметри, за допомогою яких планується виконати спектрополариметричні дослідження в ультрафіолетовій та видимій ділянках спектру [94, 140, 141, 146, 152–155, 173, 186]. Автори проекту ставлять за мету отримати радарні зображення високого просторового розділення ділянок місячної поверхні поблизу місячних полюсів. Ці місцевості, як правило, недостатньо вивчені, бо постійно затінені. Крім того, заплановано одночасну радарну та оптичну зйомку високого розділення освітлених ділянок

Місяця для дослідження структурних характеристик поверхні та визначення функції рельєфу. Планується також виконати мапування зрілості реголіту за даними спектрозональної розвідки [180, 213]. Проблеми дослідження деформацій місячної поверхні та планетних поверхонь (без атмосфери), місяцетрясіння та коливання Місяця внаслідок ендегенних та екзогенних факторів впливу, виявлення гравітаційних хвиль, періодичності коливань запропоновано виявляти і спостерігати розробленим українським колективом довгобазисним планетарно-космічно-місячним інтерферометром [163]. Українське конструкторське бюро «Південне» також працює над проектом науково-дослідних баз на Місяці. Проект отримав назву «Місячна промислово-дослідна база». Для міжнародних програм запропоновано понад сотню експериментів та проектів обладнання для проведення астрономічних спостережень з різних напрямків астрономії [180]. Крім того, українські фахівці володіють технологіями та досвідом для розробки невід'ємних компонентів космічних транспортних систем, які можуть бути використані у міжнародних програмах, спрямованих на розвиток досліджень Місяця.

Вибір місця для спостережень української астрономічної бази залежить у першу чергу від поставлених задач та типу інструмента. Враховуючи рекомендації ILEWG та кошторисні можливості проекту, найкращим варіантом був би майданчик з комплексним інструментарієм, який би міг приймати широкий діапазон випромінювання від космічних джерел і одночасно міг виконувати дослідження самої місячної поверхні. Українські фахівці мають досвід розробки як окремих автоматизованих невеликих телескопів, так і злагодженої мережі роботів-телескопів [168—170].

**Вимоги до інструментарію, місця розташування та можлива програма спостережень.** Україна, яка має великий науковий і технічний потенціал для проведення досліджень з місячної поверхні, має перш за все визначитися, в якому форматі вона планує провадити дослідження. У першому варіанті — міжнародна кооперація — доцільно запропонувати свої проекти міжнародній спільноті і обрати ту нішу проектування та розгортан-

ня місячної астрономічної спостережної станції, яка є найбільш актуальною та/або не виконаною іншими. У цьому випадку місце розташування та тип інструмента будуть залежати від обраного проекту. Переваги такого вибору — спільні зусилля для транспортування наукового обладнання, навігації, налагодження роботи та експлуатації, збереження та ретрансляція результатів. Можливі недоліки — це певна обмеженість наукового вибору, залежність від розробок інших учасників. У другому варіанті — повністю самостійний проект — варто розробити перш за все головну довготривалу стратегію досліджень на Місяці; залучити до цієї проблеми фахівців різних галузей (астрономів, приладобудівників, геофізиків, біологів, екологів та ін.), щоб проект зміг вирішити одночасно багато різнопланових наукових задач для здешевлення самої місії.

З точки зору астрономії, варто підготувати приймальний інструмент або декілька, які б зразу охопили весь широкий діапазон довжин хвиль випромінювання. Інструмент (або інструменти) першого етапу має бути невеликим, з можливостями додавання до нього інших модулів та виконувати автоматичну модернізацію. Розміщення телескопа, звичайно ж, залежить від обраних задач. Як найпростіший варіант це може бути нерухомий зенітний телескоп з можливістю фіксувати зоряні треки, крім інших функцій. В більш оптимістичному варіанті добре було б розмістити мережу подібних телескопів уздовж місячної довготи через певні однакові проміжки, аж до місячного екватора. Синхронізовані в автоматизовану мережу, вони могли б одночасно проводити спостереження, результатом яких стало б визначення параметрів обертання Місяця та багато інших питань. Якщо телескопи будуть мати широке поле зору, вони чудово справлятимуться з питаннями виявлення навколосемних об'єктів та ін. При цьому кожен телескоп, або по черзі в неперервному режимі будуть мати змогу, вони можуть виконувати моніторинг земної поверхні зі спеціальними фільтрами та додатковими приймачами.

Перспектив дуже багато, всі вони цікаві та своєчасні, але потребують більш серйозних колективних розробок. При цьому варто постійно моніторити світові тенденції та ідеї, що знахо-

дять серед них своє місце, відповідно до можливостей і перспектив.

#### **ПІДГОТОВКА ЕФЕМЕРИД ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЯСКРАВІХ ПРИПОЛЯРНИХ ЗІР З ПОВЕРХНІ МІСЯЦЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІБРАЦІЇ**

Розмір приладів, що доставляються на Місяць, обмежений габаритами ракети-носія, оскільки долетіти туди, щоб доставити, полагодити або оновити обладнання — це дуже дорога процедура. Тому поки що сенс говорити лише про спостереження, які принципово можна провести тільки з Місяця, і за розумні кошти [19, 41, 138, 139, 180]. Однією з важливих задач, які можна вирішити астрономічними методами при спостереженнях зоряного неба з поверхні Місяця, є дослідження фізичної лібрації нашого природного супутника [51]. Згідно з визначенням, фізична лібрація — це невелике (амплітудою близько  $2''$ ) погойдування Місяця, яке викликається припливними силами з боку Землі та інших тіл Сонячної системи. Воно проявляється також і в незначних змінах періоду його обертання навколо осі.

Для вивчення фізичної лібрації слід отримати так звані щоденні паралелі та річні треки зірок на небесній сфері. Тобто, необхідно показати особливості їхньої поведінки при спостереженні з поверхні Місяця. На першому етапі моделювання необхідно порівняти селенографічні координати зірок для різних моделей гравітаційного поля Місяця. Наведений в [162] аналіз показав, що навіть при порівнянні сучасних моделей, зіркові модельні доріжки відрізняються одна від одної більше, ніж на 10 мсд. З метою визначення фізичної лібрації Місяця, на її поверхні можна планувати встановлення камери для спостереження зірок. Можливості спостережень з місячної поверхні неодноразово розглядалися і українськими дослідниками [87, 108, 111].

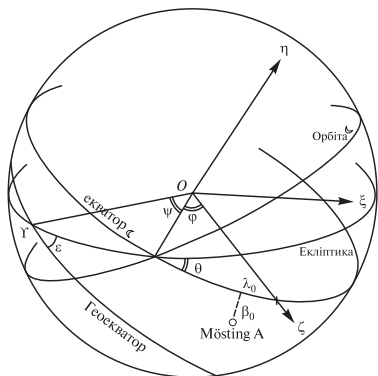
Наші попередні оцінки показують, що прилад для спостережень зоряного поля можна встановлювати не тільки у приполярному регіоні, а й істотно ближче до екватора. Оптична система спеціально підібраної камери повинна вирізати на небесній сфері поле в  $1.5...2^\circ$ . Це дозволить для

кожного зображення використовувати для обробки кілька десятків опорних зірок, яскравіших за  $12^m$ . Оцінки вказують на необхідність визначення координат досліджуваних зірок з точністю близько 1 мсд, чого цілком можна досягти із сучасним програмним забезпеченням. На першому етапі підготовки до космічного експерименту необхідно провести деякі дослідження щодо його теоретичної підтримки. Сюди слід включити такі завдання: 1) підібрати список зірок у полі зору камерної системи для вивчення лібраційного прецесійного руху місячного полюса, 2) виконати моделювання та аналіз поведінки слідів зір протягом періоду спостережень і 3) провести модельну перевірку чутливості вимірних селенографічних координат зір до змін параметрів динамічної моделі Місяця тощо.

Вивченню підлягає явище лібрації. Для Землі аналогічне явище зазвичай розділяють на два — прецесію і нутацію з одного боку, та рух полюса і нерівномірність обертання Землі — з іншого. Для Місяця прецесія повинна враховуватися як звичайно, оскільки вона впливає на координати зір. Місячна нутація складає суть явища оптичної лібрації. Фізична лібрація, або рух місячного полюса, важко піддається моделюванню. Однак для визначення видимих положень зір вона не береться до уваги; і це дає можливість визначати її зі спостережень таким же чином, як це робиться і на Землі: зі спостережень координат зір у полярній області.

Спочатку нами було виконано аналіз відомих моделей лібрації, обрано зоряний каталог та підібрано фундаментальні планетні ефемериди. У комплексі це дозволило нам виконати модифікацію алгоритму обчислення видимих положень зір при спостереженнях із Землі з метою його використання для Місяця, та проведено попередні обчислення. Подальші роботи були присвячені усесторонньому аналізу модифікованих алгоритмів обчислення видимих положень зір, а потім було виконано модифікацію алгоритмів обчислення видимих положень Сонця і планет та перенесено його на поверхню Місяця. Важливим також було всебічне тестування цього програмного забезпечення.

**Теорія лібрації.** Термін «лібрація» зазвичай використовується до явищ на Місяці. Аналогічне яви-



Орієнтація селенографічної системи координат відносно екліптичної

ще на Землі відоме як нутація та рух полюса. З класичної точки зору лібрацію розділяють на оптичну та фізичну. Якщо оптична лібрація досить добре моделюється і відносно легко спостерігається із Землі, то фізичну лібрацію, значно меншу за величиною, вивчено суттєво гірше через серйозні труднощі при її спостереженні з Землі. Спостереження зір і планет з поверхні Місяця — це фактично єдиний спосіб підвищення точності теорії лібрації. Ми не ставили завдання вичерпного аналізу теорії обертання твердого тіла. Тут для нас важливий лише практичний аспект.

Лібрацію осі обертання Місяця описують трьома кутами:  $\tau$  — фізична лібрація в довготі,  $\rho$  — фізична лібрація в нахилі,  $\sigma$  — фізична лібрація в довготі вузла.

Положення селенографічної системи координат відносно екліптики можна виразити через середню довготу Місяця  $L$ , довготу місячного висхідного вузла  $W$  та кути лібрації таким чином:

$$\begin{aligned} \varphi + \psi &= 180^\circ + L + \tau, \\ \psi &= \Omega + \sigma, \\ \theta &= I + \rho. \end{aligned} \quad (1)$$

Фізичний сенс кутів  $\varphi$ ,  $\psi$ ,  $\theta$  можна встановити з рисунка. По своїй суті це кути Ейлера, що використовуються у класичній механіці при побудові теорії обертання твердого тіла:  $\psi$  — кут в екліптиці від точки весняного рівнодення до низхідного вузла місячного екватора;  $\varphi$  — кут в місячному екваторі від низхідного вузла до першої осі селенографічної системи координат. Згідно з означенням, ця вісь проходить через центральний пік кратера Mesting A, який, у свою чергу, ле-

жить практично у центрі видимого диска Місяця;  $\theta$  — нахил місячного екватора до екліптики.

**Аналітичні теорії лібрації.** Таких теорій відомо три. Це теорії Екхардта [67], Мігуса [136] та Мунс [137]. Для практичного використання вживаються розклади кутів лібрації у ряди Фур'є. Повні розклади приведено далі у тексті програми, тут наведено лише приклад.

$$\begin{aligned} \tau &= 1.7'' \sin(2F - 2D) + 91.6'' \sin(I') - \\ &- 1.4'' \sin(l - l' - D) + 4.2'' \sin(l - 2D) + \dots \\ \rho &= -3.1'' \cos(2F - 2D) - 10.8'' \cos(2F) + \\ &+ 23.8'' \cos(l - 2F) - 1.9'' \cos(l - 2D) + \dots \\ I\sigma &= -3.0'' \sin(2F - 2D) - 10.6'' \sin(2F) - \\ &- 23.8'' \sin(l - 2F) + 2.5'' \sin(l - 2D) + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Для скорочення запису у публікаціях та для спрощення обчислень такі ряди представляють у табличному вигляді. Наприклад, перше з рівнянь (2) буде представлено у вигляді такої таблиці:

0	0	2	-2	1.7
0	1	0	0	91.6
1	-1	0	-1	-1.4
1	0	0	-2	4.1

...

Перші чотири стовпчики цієї таблиці відповідають коефіцієнтам при аргументах синусів, останній стовпчик — амплітуді коливання.

Величини  $l$ ,  $l'$ ,  $F$ ,  $D$ ,  $\Omega$  називаються фундаментальними аргументами теорії руху Місяця. Це, відповідно, середня аномалія Місяця, середня аномалія Сонця, середній аргумент широти Місяця, середня елонгація Місяця від Сонця, середня довгота висхідного вузла орбіти Місяця на екліптиці. У теорії лібрації мають значення лише перші чотири з них. Аналітичні вирази для них дещо залежать від епохи, і для J2000.0 мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} l &= 485866.733'' + (1325' + 715922.633)''T + \\ &+ 31.310''T^2 + 0.064''T^3, \\ l' &= 1287099.804'' + (99' + 1292581.224)''T - \\ &- 0.577''T^2 - 0.012''T^3, \\ F &= 335778.877'' + (1342' + 295263.137)''T - \\ &- 13.2577''T^2 + 0.011''T^3, \\ D &= 1072261.307'' + (1236' + 1105601.328)''T - \\ &- 6.891''T^2 + 0.019''T^3, \\ \Omega &= 450160.280'' - (5' + 482890.539)''T + \\ &+ 7.455''T^2 + 0.008''T^3. \end{aligned}$$

Ще один кут, а саме середня довгота  $L$  Місяця, не входить до фундаментальних аргументів, але потрібен при обчисленнях. В цій роботі він отримується з фундаментальної планетної ефемериди. Для роботи з будь-якою із наведених вище аналітичних теорій лібрації підготовлено необхідне програмне забезпечення.

**Чисельні теорії лібрації.** Такі теорії не є, власне, теоріями у повному розумінні цього слова. Вони є побічним продуктом побудови фундаментальних планетних ефемерид. В цій роботі ми використовуємо ефемериди лінії LEDE, а саме ефемериду LEDE421, як таку, під час побудови якої основну увагу було приділено якнайточнішому представленню положень планет на невеликих відстанях від епохи 2000 р.

Ефемериду LEDE421 можна використовувати лише до 2100 р. Однак саме вона використовується для планування космічних місій і найбільш придатна для нашої мети. Ефемериди — це подані у вигляді розкладення у ряди по поліномах Чебишева координати та швидкості великих планет, а також значення кутів нутації для Землі та кутів лібрації для Місяця. Тобто, це таблиці розрахованих наперед значень кутів Ейлера. Обчислень фактично немає, досить просто «забрати» з ефемериди ці кути для потрібного моменту часу. Цей процес абсолютно аналогічний до процесу отримання координат і швидкостей планет, Сонця, Землі та Місяця з тієї ж ефемериди.

**Каталоги зірок.** Для цієї роботи відібрано каталог зір PPM [17]. Він містить для епохи J2000.0 положення, власні рухи, зоряні величини та спектри для 378910 зірок в обох півкулях, 89676 зірок додатку та ще близько 300 яскравих зірок. Він має цілком достатню астрометричну точність, яка дещо змінюється від зірки до зірки у межах сотих долей секунди дуги. Середня концентрація зірок каталогу досягає 10 на квадратний градус.

Підготовлене програмне забезпечення завантажує дані зі згаданого вище каталогу PPM у внутрішню структуру, яка має всі ознаки бази даних. Так, ми можемо не тільки отримувати дані про окремі зірки з каталогу, а робити запити. Наприклад, отримувати список усіх зірок, що попадають у поле зору телескопа із заданими пара-

метрами, вказавши необхідний інтервал зоряних величин, прямих піднесенень та схилень.

Відмітимо, що такі запити можна робити як у земній екваторіальній, так і у місячній екваторіальній (селеноцентричній, селенокваторіальній) системах координат. Останнє спеціально підготовлено для робіт на Місяці, оскільки оптична техніка «там» майже напевне буде орієнтуватися в осях «тамтешньої», тобто місячної, системи координат.

**Алгоритм для отримання видимих положень зір на поверхні Місяця.** Приведемо цей алгоритм у вигляді певного конспекту. Нехай  $(\alpha, \delta)_0$  — координати, а  $(\mu_\alpha, \mu_\delta)_0$  — власні рухи зірок на епоху J2000.0, взяті з каталогу PPM,  $\pi$  — паралакс зірки,  $v$  — її променева швидкість.

Для отримання селеноцентричних видимих місць цієї зірки на момент часу  $t$  виконуємо такі дії. Всі обчислення мають проводитися у шкалі TDT.

1. Визначаються барицентричні прямокутні координати зірки на J2000:

$$\vec{q} = (\cos \alpha_0 \cos \delta_0, \sin \alpha_0 \cos \delta_0, \sin \delta_0).$$

2. Визначаються прямокутні проекції вектора власного руху:

$$\vec{m} = \begin{pmatrix} -\mu_{\alpha 0} \cos \delta_0 \sin \alpha_0 - \mu_{\delta 0} \sin \delta_0 \cos \alpha_0 + v \pi \cos \delta_0 \cos \alpha_0 \\ \mu_{\alpha 0} \cos \delta_0 \cos \alpha_0 - \mu_{\delta 0} \sin \delta_0 \sin \alpha_0 + v \pi \cos \delta_0 \sin \alpha_0 \\ \mu_{\delta 0} \cos \delta_0 + v \pi \sin \delta_0 \end{pmatrix}.$$

3. Визначаються селеноцентричний вектор зірки та його орт:

$$\vec{P} = \vec{q} + T\vec{m} - \pi\vec{S}, \quad \vec{p} = \vec{P} / P,$$

де  $T$  — різниця моментів ( $t - J2000$ ), виражена в юліанських століттях,  $\vec{S}$  — барицентричне положення Місяця.

4. Враховується повна аберація, яка в цьому випадку складається з річної та місячної (це аналог добової аберації):

$$\vec{p}_2 = \frac{\vec{p} / \beta + (\vec{p} \cdot \vec{V}) \cdot \vec{V} / (1 + 1 / \beta)}{1 + \vec{p} \cdot \vec{V}},$$

де  $\vec{V} = \vec{V}_B / c$ ,  $\beta = 1 / \sqrt{1 - V^2}$ ,  $\vec{V}_B$  — барицентрична швидкість Місяця.

5. Враховується прецесія:

$$\vec{p} = R \cdot \vec{p}_2,$$

де  $R$  — матриця прецесії на момент  $t$ .

6. Здійснюється перехід у екліптичні координати:

$$\vec{p}_4 = P(\varepsilon) \cdot \vec{p}_3,$$

де  $P(\varepsilon)$  — матриця для переходу від екватора до екліптики,  $\varepsilon$  — миттєвий нахил екватора до екліптики.

7. Нехай  $\lambda, \beta$  — екліптичні геоцентричні координати зірки, знайдені з  $\vec{p}_4$ . Переходимо до селеноцентричної довготи  $l$  та широти  $b$ :

$$\begin{pmatrix} \cos b \cos l \\ \cos b \sin l \\ \sin b \end{pmatrix} = \\ = R(180^\circ + L + \tau - \Omega - \sigma)P(-I - \rho) \times \\ \times R(\Omega + \Delta\psi + \sigma) \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \lambda \\ \cos \beta \sin \lambda \\ \sin \beta \end{pmatrix}.$$

Цим вичерпується алгоритм знаходження видимих селеноцентричних координат зірок.

Звертаємо увагу, що тут використано стандартні матриці поворотів довкола осей системи координат, відповідно  $P(\alpha)$ ,  $Q(\alpha)$ ,  $R(\alpha)$  для поворотів відносно осей абсцис, ординат та аплікату на кут  $\alpha$ :

$$P(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix},$$

$$R(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Вираз для матриці  $Q(\alpha)$  не наведено, оскільки у цих формулах вона не використовується.

Алгоритм для отримання видимих положень об'єктів Сонячної системи з поверхні Місяця. Цей алгоритм відрізняється лише двома моментами від шойно приведенного алгоритму для зірок. По-перше, координати планет та їхній швидкості вибираються не з каталогу, а з планетної ефемериди, і змінюються від моменту до мо-

менту. По-друге, після того як вище у п. 4 враховано річну та місячну аберації, потрібно також врахувати планетну аберацію згідно з формулою:

$$\vec{p}_2 = \vec{p}_2 - \vec{v} \frac{c}{|\vec{p}_2|},$$

де  $c$  — швидкість світла,  $\vec{v}$  — швидкість руху планети, яка теж отримується з планетної ефемериди.

## ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Програмне забезпечення для обчислень у відповідності до плану складається з восьми окремих проектів, зібраних у пакет **Lunatic**. Для його запуску потрібно встановити вільне програмне забезпечення — бібліотеку **Qt** версії не нижче 4.7 та засіб для розробки програмного забезпечення — **QtCreator**. Ці продукти можна вільно завантажити з інтернету.

Окрім програмного забезпечення, потрібно завантажити каталог зірок (в нашому випадку це PPM) та текстову версію ефемериди LeDe. Ми використали версію LeDe421. Каталог PPM можна знайти у базі Vizier, ефемериду — на сайті CDDIS.

Покажемо покроково, як використовувати програмне забезпечення.

Вибираємо директорію (надалі називаємо її Lunatic) та розпакуємо в неї доданий архів. Структура каталогів відносно каталогу верхнього рівня та їхній вміст повинен вийти таким:

**Bin** — результати компіляції, робочі програми та бібліотеки, результати роботи, потрібні для роботи файли ефемериди, каталогу та теорій лібрації;

**Calendar** — головний проект пакету **Lunatic**, проводить обчислення для заданого року, місяця, вибраної теорії лібрації, каталогу та ефемериди;

**Doc** — LaTeX-файли для побудови сторінок місячного календаря для вказаного року та місяця;

**DynamicsLib** — основна бібліотека для обслуговування ефемерид, каталогів та теорій лібрації; використовується усіма іншими під-проектами пакету;

**EphBin** — підпроект для перетворення файлів ефемериди у двійковий формат;

**EphExtr** — підпроект для екстрагування з повного файлу ефемериди необхідного для роботи фрагмента даних;

**EphList** — підпроект для друкування стану ефемериди;

**TestCatalogue** — тестовий проект для тестування частини коду, що працює з каталогом;

**TestEph** — тестовий проект для тестування частини коду, що працює з ефемеридою;

**TestLibration** — тестовий проект для тестування частини коду, що працює з аналітичною теорією лібрації.

Кілька файлів лежить у основному каталозі; серед них файл **Lunatic.pro**, який є головним файлом проекту. Тестові проекти для перевірки своїх результатів використовують дані, що надаються авторами каталогу, ефемериди, теорії лібрації. Станом на день закінчення цього звіту всі тестові проекти підтверджують готовність коду.

Для запуску програмного забезпечення слід відкрити у середовищі **QtCreator** головний файл пакету, яким є **Lunatic.pro**.

Компіляція здійснюється вибором комбінації меню **Build -> BuildAll**, або **Ctrl+B**; запуск програми відбувається з меню — **Build -> Run**, або **Ctrl+R**.

В результаті компіляції утворюються двійкові файли — бібліотека **DynamicsLib.Dll** та програми **Calendar.exe**, **EphBin.exe**, **EphExtr.exe**, **EphList.exe**, **TestCatalogue.exe**, **TestEph.exe**, **TestLibration.exe**.

Усі вони повинні утворитися в директорії **Bin** основної директорії.

Запуск також можна здійснити з командного рядочка. Для цього в вікні **cmd** знаходимо та переходимо в директорію **Lunatic\Bin** і там запускаємо **Calendar**.

Програма «Calendar» може мати параметри командного рядка; ними є рік та місяць.

Це цілі числа, місяць січень має номер 1, лютий — 2 і т. д. **Приклад: Calendar 2018 2.**

Для прикладу було пораховано таблиці для лютого місяця 2018 р. Результати завжди починаються за три дні до настання вказаного місяця і переходять на три дні у наступний після вказаного. Внести значення року та місяця можна також і в код програми: це рядочки 11 та 12 файлу **main.cpp** з проекту **Calendar**.

Після такої зміни потрібно перекомпілювати весь проект. У результаті роботи програми у директорії **Bin** головного дерева директорій утворюється п'ять файлів з таблицями, які містять усю потрібну інформацію. Основна частина цих даних описана вище; тут наведемо лише короткий опис таблиць з результатами.

**Заключні зауваження.** Важливим для роботи пакету є функції вибірки зірок з каталогу PPM. Для цього служить функція **int Select(m, dm, d, dd, a, da)**; яка приймає пари *m*, *dm* для вибірки по зоряній величині, будуть відбиратися зірки від *m* до *m+dm*.

Інші пари (*d*, *dd*) та (*a*, *da*) не обов'язкові і служать для додаткового відбору зірок по схилен-

Таблиця 1. Видимі геоцентричні положення Місяця на 0<sup>h</sup> та 12<sup>h</sup> UTC

-----	mm dd	h m s.----	o ' ".----	-----	o ' ".----	-----	o ' ".----	-----	' ".-----	o ' ".----
2457751.50	12 29.0	181850.4168	-185716.433	62.76518217	2742802.665	899.325	42442.698	-393.008	5446.29343	1455.487

Кожен рядок табл. 1 містить такі дані:

- юліанська дата (2457751.50), та дата (12 29.0) — 29 грудня,
- видиме геоцентричне пряме піднесення Місяця (18<sup>h</sup>18<sup>m</sup>50<sup>s</sup>.4168),
- видиме геоцентричне схилення Місяця (–18°57'16".433),
- видима геоцентрична відстань (62.76518217, в земних радіусах),
- видима геоцентрична екліптична довгота Місяця (274°28'02".665),
- зміна довготи за одну годину UTC (899.325''),
- видима геоцентрична екліптична широта Місяця (4°24'42".698),
- зміна широти за одну годину UTC (–393.008''),
- горизонтальний екваторіальний паралакс Місяця (54'46".29343),
- видимий радіус Місяця (14'55".487).

У наступному рядку ця ж інформація повторюється для 12<sup>h</sup> UTC.

Таблиця 2. Ефемериди для фізичних спостережень Місяця на 0<sup>h</sup> UTC

mm dd	o ' ".---	o ' ".---	' ".---	' ".---	o ' ".---	o ' ".---	o.---	o.---	o.---	-.---
12 29	-30903.177	-54713.076	-341.465	-52.556	2695739.302	11913.974	357.400	51.804	174.515	0.002

Кожен рядок табл. 2 містить:

- дата (12 29) 29 грудня,
- селеноцентрична довгота Землі ( $-3^{\circ}09'03.177''$ ),
- селеноцентрична широта Землі ( $-5^{\circ}47'13.016''$ ),
- фізична лібрація в довготі ( $-3'41.465''$ ),
- фізична лібрація в широті ( $-0'52.556''$ ),
- 90° мінус селеноцентрична довгота Сонця ( $269^{\circ}57'39.302''$ ),
- селеноцентрична широта Сонця ( $1^{\circ}19'13.974''$ ),
- позиційний кут осі обертання Місяця ( $357.400^{\circ}$ ),
- позиційний кут термінатора на Місяці ( $51.804^{\circ}$ ),
- фазовий кут Місяця ( $174.515^{\circ}$ ),
- освітлена частина диска Місяця.

Таблиця 3. Час на Місяці

mm dd	o ' ".---	o ' ".---	' ".---	o ' ".---	' ".---	".---	".---	".---
12 29	973716.006	974122.553	406.547	1562312.916	2924.165	219.543	1737.162	34.631

Кожен рядок табл. 3 містить такі дані:

- дата (12 29) 29 грудня,
- середній місячний час на нульовому меридіані  $+12^h$  ( $97^{\circ}37'16.006''$ ),
- справжній місячний час на нульовому меридіані  $+12^h$  ( $97^{\circ}41'22.553''$ ),
- поправка для переходу від середнього до справжнього місячного часу ( $4'06.547''$ ),
- середня довгота висхідного вузла Місяця ( $156^{\circ}23'12.916''$ ),
- поправка для переходу від середньої до справжньої довготи вузла ( $29'24.165''$ ),
- кут лібрації  $\theta$ , ( $219.543''$ ),
- кут лібрації  $\sigma/\sin(I)$ , ( $1713.162''$ ),
- кут лібрації  $\tau$ , ( $34.631''$ ).

Таблиця 4. Видимі селеноцентричні координати планет

mm dd	o ' ".---	o ' ".---	o ' ".---	' ".---	o ' ".---	o ' ".---	' ".---	".---
12 29	-30903.177	-54713.076	5446.015	1455.487	1800220.698	11913.974	1618.260	2.443

Кожен рядок табл. 4 містить такі дані:

- дата (12 29) 29 грудня,
- видима селеноцентрична довгота Землі ( $-3^{\circ}09'03.177''$ ),
- видима селеноцентрична широта Землі ( $-5^{\circ}47'13.016''$ ),
- видимий селеноцентричний радіус Землі ( $54'46.015''$ ),
- видимий селеноцентричний паралакс Землі ( $14'55.487''$ ),
- видима селеноцентрична довгота Сонця ( $180^{\circ}02'20.698''$ ),
- видима селеноцентрична широта Сонця ( $1^{\circ}19'13.974''$ ),
- видимий селеноцентричний радіус Сонця ( $16'18.260''$ ),
- видимий селеноцентричний паралакс Сонця ( $2.443''$ ).



Таблиця 5. Видимі селеноцентричні координати зірок

PPM 400001		
0 <sup>h</sup> 02 <sup>m</sup> 19.800 <sup>s</sup> -29° 43' 14.00" 0.0010 <sup>s</sup> 0.020" 5.0 B5		
mm dd	o ' ".---	o ' ".---
12 29	-111913.327	-273629.170
12 30	-111924.871	-273633.636

Кожен рядок табл. 5 містить такі дані:

у заголовку — пряме піднесення та схилення зірки на J2000.0, власні рухи, зоряну величину та спектральний клас з каталога PPM,

дату та видимі координати зірки.

ню та прямому піднесенню. Кути мають подаватися у градусах.

Вказана функція повертає кількість відібраних зірок. Зірки, які не були відібрані з каталогу, видаляються. Якщо потрібно відібрати інший набір зірок, каталог треба перезавантажити функцією **Load**.

## ВИСНОВКИ

Наведений огляд вище описаних проектів телескопів та обладнання для спостережень з місячної поверхні, діючих місячних проектів послужили своєрідним вступом до пропозицій до можливого українського проекту місячної спостережної бази. Однією із найбільш можливих пропозицій для такої платформи на поверхні Місяця є дослідження лібрації Місяця за спостереженнями добових і річних слідових треків зір, їхнє порівняння із відповідними моделями нашого супутника та фотометричне, спектральне і спектрополяриметричне дослідження Землі. У роботі наведено описи методики отримання видимих місць об'єктів з поверхні Місяця, необхідних алгоритмів та відповідного програмного забезпечення для розрахунків пошукових ефемерид і їхнього порівняння із спостережними результатами з допомогою оптичного телескопа. Використано найбільш точні з відомих на цей час джерела даних, ефемериди, каталоги та теорії лібрації. Це дозволяє сподіватися, що основна задача майбутньої роботи у цьому напрямку — уточнення деяких положень теорії лібрації — має достатньо вагоме підґрунтя.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Александров Ю. В. Возмущенное движение искусственного спутника Луны по проекту «Укрселена». *Космична наука і технологія*. 2009. 15, № 1. С. 5—8.
2. Белькович И. В. Физическая либрация Луны. *Изв. Астрон. обсерватории им. В. П. Энгельгарда*. 1949. № 24. С. 1—246.
3. Жарков В. Н., Паньков В. Л., Калачников А. А., Оснач А. И. *Введение в физику Луны*. Москва: Наука, 1969. 311 с.
4. Кислюк В. С. Деформация селенодезической опорной сети под влиянием ошибок постоянных вращений Луны. *Астрометрия и астрофизика*. 1972. Вып. 16. С. 30—40.
5. Кислюк В. С. *Геометрические и динамические характеристики Луны*. Киев: Наук. думка, 1988. 183 с.
6. Колачек Б., Роговски Е. Определение селенографических координат и параметров вращательного движения Луны с ее поверхности по измерениям зенитных расстояний. *Астрон. журн*. 1975. 52, № 4. С. 867—874.
7. Кондратюк Ю. *Завоювання міжпланетних просторів*. Нью-Йорк, 1972. 79 с.
8. Куликовский П. Г. Ян Гевелий (к 350-летию со дня рождения). *Ист.-астрон. исслед*. 1961. VII. С. 257—288.
9. Левантовский В. И. *Механика космического полета в элементарном изложении*. Москва: Наука, 1980. 512 с.
10. Моутсулас М. Д. *Либрации Луны. Физика и астрономия Луны*. Москва: Мир, 1973. С. 36—70.
11. Нефедьев А. А. Вывод постоянных физической либрации Луны по методу краковяна. *Изв. Астрон. обсерватории им. В. П. Энгельгарда*. 1963. № 34. С. 3—38.
12. Столяров Г. М. Параметры физической либрации Луны, выведенные из Казанских гелиометрических рядов наблюдений Луны. *Тр. Казан. гор. астрон. обсерватории*. 1980. № 46. С. 141—165.
13. Хабибуллин Ш. Т. Вывод постоянных физической либрации Луны из гелиометрических наблюдений Гартвига в Тарту (Дерпте) по данным обработки К. Козела. *Тр. Казан. гор. астрон. обсерватории*. 1961. № 33. С. 1—16.
14. Хабибуллин Ш. Т. Нелинейная теория физической либрации луны. *Тр. Казан. гор. астрон. обсерватории*. 1966. № 34. С. 3—70.
15. Хабибуллин Ш. Т. Развитие теории физической либрации Луны и селеноцентрические системы координат. *Кинематика и физика небес. тел*. 1988. 4, № 1. С. 35—42.
16. Циолковский К. Э. *На Луне. Грезы о Земле и небе*. М.-Л.: ГОНТИ, 1938. 120 с.

17. Чолій В., Бахонский А. *Определение видимых мест звезд*. Киев, 1990. 53 с. Деп. ВИНТИ, № 5005-В90.
18. Шакиров К. С. *Движение Луны относительно центра масс*. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1976. 84 с.
19. Шевченко В. В. Видимые перемещения Земли на небе Луны. *Космич. дослід.* 1963. 1, № 2. С. 216—220.
20. Шевченко В. В. Астроориентация на Луне при физических исследованиях. *Космич. дослід.* 1967. 6, № 5. С. 930—938.
21. Шкуратов Ю. Г., Бондаренко Н. В., Качанов А. С. Задачи лунного полярного спутника после КА «Клементина». *Космічна наука і технологія*. 1998. 4, № 1. С. 46—53.
22. Шкуратов Ю. Г., Кайдаш В. Г., Пиетерс С. М. Лунный клинопироксен и плагиоклас: распределение по поверхности и состав. *Астрон. вестн.* 2005. 39, № 4. С. 255—266.
23. Шкуратов Ю. Г., Кислюк В. С., Литвиненко Л. Н., Яцкив Я. С. Модель Луны 2004 для проекта «Укрселена». *Космічна наука і технологія. Додаток*. 2004. 10, № 2. 52 с.
24. Яковкин А. А. Метод позиционных улов для определения физической либрации Луны. *Изв. Глав. астрон. обсерватории АН УССР*. 1961. 4, № 1. С. 3—13.
25. Яковкин А. А. Астрометрия на Луне (программа астрометрических наблюдений на стационарной Лунной обсерватории). *Тр. 15-й астрометр. конф. СССР*. 1963. С. 412—416.
26. Яковкин А. А. Отчет о работе подкомиссии по изучению движения и фигуры Луны за 1958—1960 гг. *Тр. 15-й астрометр. конф. СССР*. 1963. С. 29—31.
27. Яковкин А. А., Деменко И. М., Мизь Л. Н. Формулы и методы лунной практической астрометрии. *Тр. 16-й астрометр. конф. СССР*. 1965. С. 119—121.
28. Яковкин А. А., Кизюн Л. Н., Деменко И. М. *Формулы и эфемериды для полевых наблюдений на Луне*. Киев: Наук. думка, 1964. 148 с.
29. Angel R., Eisenstein D., Sivanandam S., Worden S. P., Burge J., Borra E., Gosselin C., Seddiki O., Hickson P., Ma Ki Bui, Foing B., Josset J.-L., Thibault S., Van Susante P. A Lunar Liquid Mirror Telescope (LLMT) for deep-field infrared observations near the lunar pole. *Proc. SPIE*. 2006. 6265. id. 62651U.
30. Arnold H. J. P. The moon's first astronomical observatory. *Brit. J. Photogr.* 1972. 119. P. 310—311.
31. Bandfield J. L., Hayne P. O., Williams J.-P., Greenhagen B. T., Paige D. A. Lunar surface roughness derived from LRO Diviner Radiometer observations. *Icarus*. 2015. 248. P. 357—372.
32. Bely P. Y., Breckinridge J. B. Space astronomical telescopes and instruments. *Proc. Meet. SPIE*. Orlando: SPIE, 1994. 544 p.
33. Bestwick J. D. Reports of Sections: Report of Lunar Section Meeting. *J. Brit. Astron. Assoc.* 1961. 71. P. 241.
34. Bhandari N., Srivastava N. Active moon: evidences from Chandrayaan-1 and the proposed Indian missions. *Geosci. Lett.* 2015. 1. id. 11. 12 p.
35. Borra E. F., Seddiki O., Angel J. R. P., Worden S. P., Eisenstein D., Silvanandam S., Hickson P., Ma K. A. Deep-Field Infrared Observatory Near the Lunar Pole. *J. Roy. Astron. Soc. Can.* 2005. 99, № 4. P. 134.
36. Borra W. The Case for a Liquid Mirror in a Lunar-Based Telescope. *Astrophys. J.* 1991. 373. P. 317—321.
37. Bruston P., Mumma M. J. Solar system exploration from the Moon: Synoptic and comparative study of bodies in our Planetary system. *Adv. Space Res.* 1994. 14, № 6. P. 143—158.
38. Burke B. F. *Astronomical Interferometry on the Moon. Lunar Bases and Space Activities in the 21st Century*. Houston: Lunar and Planetary Institute, 1985. P. 281—291.
39. Burke J. D. Lunar observatories. *Spaceflight*. 1989. 31. P. 308—309.
40. Burke J., Kaltenecker L. Advantages of a lunar cryogenic astronomical. *Geophys. Res. Abstr.* 2017. 19. EGU2017-9326.
41. Burlak O., Zaetz I., Soldatkin O., Rogutskyy I., Danilchenko B., Mikheev O., de Vera J.-P., Vidmachenko A., Foing B., Kozyrovska N. The inducible CAM plants in putative lunar lander experiments. *38th COSPAR Scientific Assembly*. Bremen, 2010. P. 11.
42. Burns J. A. Moon-Earth Radio Interferometer. *Lunar Bases and Space Activities in the 21st Century*. Houston: Lunar and Planetary Institute, 1985. P. 293—300.
43. Burns J. O. A review of recent lunar observatories workshops. *Astrophysics from the Moon: Proc. Workshop*. New York, 1990. P. 305—314.
44. Burns J. O. The Moon as a site for astronomical observatories. *The Next Generation Space Telescope*. 1990. P. 341.
45. Burns J. O., Mendell W. W. (Eds) *Future astronomical observatories on the moon*. Washington: NASA, 1988. NASA CP-2489. 127 p.
46. Cao Li, Ruan P., Cai H., Deng J., Hu J., Jiang X., Liu Zh., Qiu Y., Wang J., Wang Sh., Yang J., Zhao F., Wei J. LUT: A lunar-based ultraviolet telescope. *Sci. China Phys., Mech. and Astron.* 2011. 54, № 3. P. 558—562.
47. Cappallo R. J., King R. W., Counselman C. C., Shapiro J. J. Numerical model of the Moon's rotation. *Moon and Planets*. 1981. 24, № 3. P. 281—289.
48. Cassini G. D. *Trait de l'origine et du progrès de l'astronomie*. Paris: Gauthier-Villars, 1693. 43 p.
49. Chen P. C., Van Steenberg M. E., Oliverson R. J. Moon Dust Telescopes, Solar Concentrators, and Structures. *Bull. Amer. Astron. Soc.* 2008. 40. P. 223.
50. Choliy V. Ya. On the precision estimation of fundamental planetary ephemerides. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2014. 30, № 6. P. 304—307.

51. Choliy V. Ya., Kazantseva L. V., Morozhenko O. V., Vidmachenko A. P., Nevodovskiy P. V. Observations of stars from the lunar surface for the study of libration. *Int. Conf. Astron. and Space Phys.* Kyiv, 2017. P. 98–100.
52. Choliy V. Ya., Vidmachenko A. P., Kazantseva L. V., Morozhenko O. V., Nevodovskiy P. V. Study of Moon's physical libration by observing the sky from its surface. *17th Ukr. Conf. on Space Res.* Odessa, 2017. P. 48.
53. Choliy V. Ya., Vidmachenko A. P., Kazantseva L. V., Nevodovskiy P. V. Investigation of the Moon's libration according to observations of stars from its surface. *19 Int. Sci. Conf. Astron. School of Young Sci.* Bila Tserkva, 2017. P. 78–79.
54. Colaprete A., Ennico K., Wooden D., Shirley M., Heldmann J., et al. Water and More: An Overview of LCROSS Impact Results. *41st Lunar and Planet. Sci. Conf.* The Woodlands, Texas, 2010. P. 2335.
55. Colaprete A., Schultz P., Heldmann J., Wooden D., Shirley M., Ennico K., Hermalyn B., Marshall W., Ricco A., Elphic R. C., Goldstein D., Summy D., Bart G. D., Asphaug E., Korycansky D., Landis D., Sollitt L. Detection of water in the LCROSS ejecta plume. *Science*. 2010. 330. P. 463–468.
56. Crites S. T., Lucey P. G. Characterization of lunar soils using a thermal infrared microscopic spectral imaging system. *Amer. Geophys. Union. Fall Meeting*. 2010. Abstr. N P53A-1505.
57. Cutts J. A., Swanson P. Four lunar astronomical observatories — Concepts developed in the NASA 90-day study for the Human Exploration Initiative. *Astrophysics from the Moon: Proc. Workshop*. New York: Amer. Inst. Phys., 1990. P. 528–537.
58. Davis J. M., Balasubramaniam K. S., Gary G. A., Moore R. A lunar based solar observatory — Rationale and concepts. *Astrophysics from the moon: Proc. Workshop*. New York: Amer. Inst. Phys., 1990. P. 567–577.
59. Di Cara D. M., Estublier D. Smart-1: An analysis of flight data. *Acta astronaut.* 2005. 57. P. 250–256.
60. Douglas J. N., Smith H. J. A very low frequency radio astronomy observatory on the Moon. *Lunar bases and space activities of the 21st century*. Houston: Lunar and Planetary Institute, 1985. P. 301–306.
61. Douglas J. N., Smith H. J. A very low frequency radio astronomy observatory on the Moon. *NASA Conf. Publ.* 1988. NASA CP-2489. P. 113–118.
62. Drean R. J., Caylor M. A., Choi D. U., Edelson C. R., Gurley J. G., Hagen F. A., Landecker P. B., Su G. W., Tillman M. L., Wassgren C. R. Engineering design of an unmanned lunar radio observatory. *Robotic telescopes in the 1990s: Proc. Symp.*, 103rd Ann. Meet. Astron. Soc. Pacif. Laramie: Univ. Wyoming, 1991. P. 347–358.
63. Durst S. International Lunar observatories and power stations: from Hawaii to the Moon. *Proc. Intern. Lunar Conf.* 2003. San Diego, 2004. P. 67.
64. Durst S. International Lunar Observatory Association (ILOA): 3 Mission Update — ILO-X Precursor, ILO-1 Polar, ILO Human Service Mission. *Joint Annual Meeting of LEAG-ICEUM-SRR*, held October 28-31 2008. Cape Canaveral, Florida. LPI Contribution No. 1446.
65. Durst S. International Lunar Observatory Association Advancing 21st Century Astronomy from the Moon. *IAU General Assembly*. 2015. Meeting #29, id.2255715.
66. Durst S. Astronomy from the Moon: A New Frontier for 21st Century Astrophysics. *American Astronomical Society*. 2018. AAS Meeting #232, id. 402.01.
67. Eckhardt D. H. Theory of the libration of the Moon. *Moon and Planets*. 1981. 25, № 1. P. 3–49.
68. *Exploring the Universe: Space-Based Astronomy and Astrophysics*. Eds J. M. Logsdon et al. Washington: NASA, 2001. P. 501–545.
69. Foing B. H. Community report and recommendations from International Lunar Exploration Working Group (ILEWG). *41st COSPAR Sci. Assembly* (cancelled). 2016. Istanbul, Turkey. Abstract PEX.1-2-16.
70. Foing B. H. Towards a Moon Village: Community Workshops Highlights. *41st COSPAR Sci. Assembly* (cancelled). 2016. Istanbul, Turkey. Abstract PEX.2-7-16.
71. Frontera F., de Chiara P., Pasqualini G. Hard X-ray (greater than 10 keV) telescope for space astronomy from the Moon. *Adv. Space Res.* 1994. 14, № 6. P. 89–96.
72. Genet R. M., Hayes D. S., Boyd L. J. Autonomous Robotic Observatories (AROs) on the Moon and Earth. *Int. Amateur-Professional Photoelectric Photometry Commun.* 1990. № 42. P. 28.
73. Gleckler A. D., Pflibsen K. P., Ulich B. L., Smith D. D. Surface control techniques for the segmented primary mirror in the large lunar telescope. *Space astronomical telescopes and instruments: Proc. Meeting, Orlando (A92-45151 19-89)*. Bellingham: Soc. Photo-Optic. Instr. Engin, 1991. P. 454–471.
74. Gopalswamy N., MacDowall R. J., Kaiser M. L., Demaio L. D., Bale S. D., Howard R. E., Jones D. L., Kasper J. C., Kassim N. E., Lazio J. W., Weiler K. W., Reiner M. J. Mission Concepts for Spacecraft and Lunar-based Radio Source Imaging at Frequencies below the Ionospheric Cutoff. *Long Wavelength Astrophysics: 26th Meet. IAU*. Prague. 2006. JD12, #21.
75. Gorenstein P. High throughput X-ray telescope on a lunar base. *Astrophysics from the moon: Proc. Workshop*. New York: Amer. Inst. Phys., 1990. P. 382–392.
76. Gorgolewski S. Lunar Radio Astronomy Observatory. *Proc. 1st Lunar Int. Lab. (LIL) Symp., Athens*. 1965. Ed. F. J. Malina. Wien: Springer, 1966. P. 78.
77. Grande M., Swinyard B., Joy K. H., Kellett B. J., Crawford I. A., Howe C. J. X-ray Fluorescence Observations of the Moon by SMART-1/D-CIXS. *Proc. Europ. Planet. Sci. Congress 2008*. Münster, Germany. 2008. P. 532.

78. Grun E., Horanyi M., Auer S., Robertson S., Srama R., Sternovsky Z. Dust Telescope on the Lunar Surface. *NLSI Lunar Science Conference*. Moffett Field, California. LPI Contribution № 1415, abstract № 2132.
79. Guo H., Liu G., Ding Y., Zhang D. Conceptual Research of Lunar-Based Earth Observation for Global Environmental Change. *39th COSPAR Scientific Assembly*. Mysore, 2012. P. 684. Abstract E2.2-7-12.
80. Gusev A., Hanada H., Kikuchi F., Matsumoto K., Kosov A., Nefedev Y., Petrova N., Ping J., Titov O. Lunar radio-beacons and geodetic VLBI system for determination of physical libration of the Moon. *40th COSPAR Scientific Assembly*. Moscow, 2014. Abstract B0.1-57-14.
81. Hall R. C. Lunar impact (NASA history series) 1. *Project Ranger. NASA*. 1977. 476. P. 7.
82. Hanada H., Araki H., Tazawa S. Development of a digital zenith telescope for advanced astrometry. *Sci. China-Phys., Mech. Astron.* 2012. 55, № 4. P. 723–732.
83. Hanada H., Ping J., Funazaki K., Kawano N., Petrova N. Development of a photographic zenith tube for observation of the lunar rotation and the deflection of the vertical. *Proc. IAG Symp. on Terrestrial Gravimetry*. Saint Petersburg, 2010. P. 125–129.
84. Hayn F. Die Rotationselemente des Mondes und der definitive Ort von Mösting A. *Astron. Nachr.* 1914. 199, № 18. P. 261–263.
85. Hilchey J. D., Nein M. E. Lunar-based optical telescopes: Planning astronomical tools of the twenty-first century. *J. Brit. Int. Soc.* 1995. 48, № 2. P. 77–82.
86. Huang Ch.-Li. LOTT: A new small telescope to monitor lunar orientation parameters. *IAU General Assembly Meeting #29*. 2015. id. 2300711.
87. Iakovkin A. A. *Formulas and Ephemerides Intended for Field Observations on the Moon*. Kiev: Naukova dumka, 1964. 148 p.
88. Illingworth G. D. 16 M UV-visible-IR lunar-based telescope. *Astrophysics from the moon: Proc. Workshop*. New York: Amer. Inst. Phys., 1990. P. 472–485.
89. Isobe S. Ground-based and Lunar-based Observations of Near-Earth Asteroids. *Proc. 27th Symp. Celestial Mechanics*. (Tokyo, 10–11 January 1995). Eds H. Kinoshita, H. Nakai. Tokyo, 1995. P. 45.
90. Isobe S. JAPAN Neo Team. A Strategy to detect the NEOs: From Ground-based to Lunar-based Observations. *Interactions between Planets and Small Bodies*, 23rd meet. IAU (Kyoto, 22–23 August 1997). Kyoto, 1997. Meeting abstract.
91. Isobe S. Proposed lunar-based telescopes for NEO observations. *Adv. Space Res.* 1999. 23, № 11. P. 1861–1863.
92. Iwata T., Imai K., Misawa H., Noda H., Kondo T., Nakajo T., Takeuchi H., Kumamoto A., Tsuchiya F., Nariyuki Y., Asari K., Kawano N. A Study on the Moon-Earth Baseline Interferometry for Jovian Low Frequency Radio Observation. *41st Lunar and Planetary Science Conference*. The Woodlands, 2010. LPI Contribution No. 1533. P. 1677.
93. Jeong M., Choi Y.-J., Kim S. S., Kang K.-I., Shkuratov Y. G., Kaydash V. G., Videen G., Sim C.K., Kim I.-H. Preliminary Design of Wide-Angle Polarimetric Camera for the First Korean Lunar Mission. *Third Planetary Data Workshop and The Planetary Geologic Mappers Annual Meeting*. Flagstaff, 2017. LPI Contribution No. 1986. id.7035.
94. Jin W., Zhang H., Yuan Y., Yang Y., Shkuratov Y. G., Lucey P. G., Kaydash V. G., Zhu M.-H., Xue Bin, Di K., Xu Bin, Wan W., Xiao L., Wang Z. In situ optical measurements of Chang'E-3 landing site in Mare Imbrium: 2. Photometric properties of the regolith. *Geophys. Res. Lett.* 2015. 42, № 20. P. 8312–8319.
95. Johnson C. L., Dietz K. L. Effects of the lunar environment on optical telescopes and instruments. *Space astronomical telescopes and instruments*. Proc. Meet. (Orlando, Apr. 1–4, 1991). (A92-45151 19–89). Bellingham: Soc. Photo-Optical Instr. Engin., 1991. P. 208–218.
96. Johnson S.W. Design of lunar base observatories. *NASA Conf. Publ., NASA CP-2489*. 1988. P. 127–134.
97. Johnson S. W., Burns J. O., Chua K. M., Duric N., Gerstle W. H. Lunar astronomical observatories — Design studies. *J. Aerospace Eng.* 1990. 3. P. 211–222.
98. Johnson S. W., Leonard R. S. Lunar-based platforms for an astronomical observatory. *Opt. Platforms: Proc. SPIE*. 1984. 493. P. 147.
99. Johnson S. W., Rohloff K. J., Whitmire J. N., Pyrz A. P., Ullrich G. W., Lee D. G. The Lunar Regolith as a Site for an Astronomical Observatory. *Space Technology and Science: Proc. 9th Int. Symp. M. Uemura (Ed.)*. Tokyo, 1971. P. 1059.
100. Johnson S. W., Taylor G. J., Wetzel J. P. Environmental effects on lunar astronomical observatories. *The Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century, NASA CP-3166*. 1992. 1. P. 329–335.
101. Johnson S. W., Wetzel J. P. Advanced technology for a lunar astronomical observatory. Engineering, construction, and operations in space. *Proc. Space'88 Conf.* New York: ASCE, 1988. P. 1102–1113.
102. Johnson S. W., Wetzel J. P. Required Technologies for A 10-16 m UV-Visible-IR Telescope on the Moon. *The Next Generation Space Telescope*. 1990. P. 348.
103. Jones D. L., MacDowall R. J., Bale S. D., Demaio L., Kasper J. C., Weiler K. W. Moon-based Epoch of Reionization Imaging Telescope (MERIT). *Bull. Amer. Astron. Soc.* 2005. 37. P. 458.
104. Jonson S. W. Design of Lunar Base Observatories. *Future Astronomical Observatories on the Moon. NASA CP-2489*. 1988. P. 127–134.
105. Karoji H. From Ground Astronomy to Space and Lunar Astronomical Observatory. *Proc. of Advanced Space Technology Workshop*. 2000. P. 222.

106. Kassim N., Weiler K. W., Lazio J. W., MacDowall R. J., Jones D. L., Bale S. D., Demayo L., Kasper J. C. Solar and Planetary Observations with a Lunar Radio Telescope. Amer. Geophys. Union. *Fall Meeting*. 2007. Abstr. N SH33A-12.
107. Kaula W. M., Baxa P. A. The physical libration of the Moon, including higher harmonic effect. *Moon*. 1973. 8, № 3. P. 287—307.
108. Kazantseva L. V., Kislyuk V. S. History of lunar astrometry research in Kyiv. Studies of the near-Earth and small bodies of the Solar system. *Proc. Int. Sci. conf. Nikolaev: Atoll*, 2007. P. 300—307.
109. Keller J. W., Petro N. E. The Lunar Reconnaissance Orbiter Cornerstone Mission: A Focused and Synergistic Study of Fundamental Solar System Processes at the Moon. *48th Lunar and Planetary Science Conference*. At The Woodlands, Texas. 2017. LPI Contribution No. 1964. id.2448.
110. King R. W., Counselman C. C., Shapiro J. J. Lunar Dynamics and selenodesy: results from analysis of VLBI and laser data. *J. Geophys. Res.* 1976. 81, № 35. P. 6251—6256.
111. Kislyuk V. S. Space exploration of the Moon: current status and prospects (review). *Kosm. nauka tehnol.* 2013. 19, № 3. P. 5—20.
112. Klimas P., Rowlands N., Hickson P., Borra E. F., Thibault S. Lunar liquid mirror telescope: structural concepts. Space Telescopes and Instrumentation 2010: Ultraviolet to Gamma Ray. Eds Arnaud, Monique; Murray, Stephen S.; Takahashi, Tadayuki. *Proceedings of the SPIE*. 2010. 7732, id. 77322U. 12 p.
113. Koch D. G., Hughes B.E. Arcsec source location measurements in gamma-ray astronomy from a lunar observatory. *Physics and astrophysics from a lunar base: Proc. 1st NASA Workshop*. New York: Amer. Inst. Phys., 1989. P. 278—282.
114. Kondo Y., Oliverson R. J., Lowman P., Chen P. C. A Moon based telescope to detect and image extrasolar planets. *Bull. Amer. Astron. Soc.* 2001. 33. P. 1319.
115. Kondratiev K. Ya., Gaevsky V. L., Konashenok V. N., Reshetnikov A. I. Lunar meteorological observatory for observations of the Earth. Proc. of the 1st Lunar International Laboratory (LIL) Symposium on Research in Geosciences and Astronomy, org. by the International Academy of Astronautics at the 16th International Astronautical Congress Athens. September 16th 1965. Ed. by F. J. Malina. Wien: Springer, 1965. P. 35.
116. Konopliv A. S., Binder A. B., Hood L. L., Kucinskas A. B., Sjogren W. L., Williams J. G. Improved Gravity Field of the Moon from Lunar Prospector. *Science*. 1998. 281. P. 1476—1480.
117. Konyukhov S. N., Degtyarev A. V., Kushnar'ov A. P., Berdnik A. I. Ukrainian space engineering for international lunar programs. *Acta Astronautica*. 2009. 64, № 1. P. 3—8.
118. Koziel K. The Constants of the Moon's Physical Libration Derived on the Basis of Four Series of Heliometric Observations from the Years 1877 to 1915. *Icarus*. 1967. 7, № 1. P. 1—28.
119. Koziel K. Libration of the Moon. Physics and astronomy of the Moon. New York, London: Academ. Press, 1982. P. 27—59.
120. Koziel K. Constants of the moon's free libration on the basis of heliometric observations from the years 1841—1945. *Earth, Moon, and Planets*. 1989. 45. P. 153—159.
121. Krat V. A. On Solar Observations at an International Observatory on the Moon. *Proceedings of the 1st Lunar International Laboratory*. Ed. F. J. Malina. Wien: Springer, 1966. P. 98.
122. Landecker P. B., Caylor M. A., Choi D. U., Drean R. J., Edelson C. R., Gurley J. G., Hagen F. A., Su G. W., Tillman M. L., Wassgren C. R. Telerobotically deployed lunar farside VLF observatory. Robotic telescopes in the 1990s. *Proceedings of the Symposium*, 103rd Annual Meeting of the Astronomical Society of the Pacific. Univ. of Wyoming, Laramie, 1991. P. 335—346.
123. Lawrence D. J., Feldman W. C., Elphic R. C., Little R. C., Prettyman T. H., Maurice S., Lucey P. G., Binder A. B. Iron abundances on the lunar surface as measured by the Lunar Prospector gamma-ray and neutron spectrometers. *J. Geophys. Res. (Planets)*. 2002. 107E, № 12. P. 13.
124. Levchenko T. A., Nevodovskyi P. V., Vidmachenko A. P., Morozhenko O. V., Saryboha H. V., Zbrutskyi O. V., Ivakhiv O. V. The test of the layout of polarimeter “UPP” on the telescope AZT-2. *18 Int. Sci. conf. Astron. School of Young Sci.* Kyiv: Nat. Aviation Univ., 2016. P. 66—67.
125. Liao W.-P., Qian Sh.-B., Zejda M., Zhu Li-Y., Li Lin-J. Lunar-based Ultraviolet Telescope study of the well-known Algol-type binary TW Dra. *Res. in Astron. and Astrophys.* 2016. 16, № 6. Article id. 94.
126. Liu J., Li Ch., Wang W., Zeng X., Mu L., Yang Y. Extraction of lunar domes from Chang'E-2 data with new method. *Icarus*. 2019. 321. P. 29—33.
127. Lowman P. D. Candidate sites for lunar observatories, with a recommended example — The NE Orientale Basin. *Astrophysics from the moon: Proc. Workshop*. Annapolis, MD, 1990. P. 315—327.
128. Lowman P. D. Candidate site for a robotic lunar observatory: The central peak of Riccioli crater. *J. Brit. Int. Soc.* 1995. 48, № 2. P. 83—86.
129. Lowman P. D. Lunar Limb Observatory: an Incremental Plan for the Utilization, Exploration, and Settlement of the Moon. Technical Report, National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center Greenbelt, MD United States. 1996.

130. Lunar and Planetary Meetings. *Sky and Telescope*. 1959. 18. P. 299.
131. Lunar and Planetary Meeting at Montreal. *Sky and Telescope*. 1962. 24. P. 194.
132. Manka R. H. Electric Potential and Fields at the Lunar Surface: Implications for a Lunar Plasma Observatory. *Abstracts of papers presented to the Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*. Houston, TX, 1988. P. 167.
133. McCarter J. W. Site selection and its influence on the design of a lunar-based telescope. *Conf. Paper*. 1993. AIAA Paper 93-4774.
134. McGraw J. T. The Lunar Transit Telescope (LTT) — an early lunar-based science and engineering mission. Engineering, construction, and operations in space. III: Space '92; Proceedings of the 3rd International Conference., Denver, CO. May 31-June 4 1992. 2 (A93-41976 17-12). P. 1865—1879.
135. Meng X.-M., Han X.-H., Wei J.-Y., Wang J., Cao Li, Qiu Yu-Lei, Wu Ch., Deng J.-S., Cai H.-Bo, Xin Li-P. NUV Star Catalog from the Lunar-based Ultraviolet Telescope Survey: First Release. *Res. in Astron. and Astrophys*. 2016. 16, N 11. Article id. 168.
136. Migus A. Analytical lunar librational tables. *Moon and Planets*. 1980. 23, № 4. P. 391—427.
137. Moons M. Analytical theory of libration of the Moon. *Moon and Planets*. 1982. 27, № 3. P. 257—284.
138. Morozhenko A. V., Vid'machenko A. P. Apparatus for monitoring of global changes in the Earth with a lunar base or satellite in Lagrange point. *Kosm. nauka tehnol*. 2003. 9, № 2. P. 28—29.
139. Morozhenko A. V., Vidmachenko A. P. Moon Base and Problems of Global Changes on the Earth. *J. Automat. and Inform. Sci*. 2004. 36, № 11. P. 27—31.
140. Morozhenko A. V., Vid'machenko A. P. Astronomical Polarimeters and Features of Polarimetric Observations. *Photopolarimetry in Remote Sens. NATO Sci. Ser. II: Mathematics, Physics and Chemistry*. 2005. 161. P. 479—486.
141. Morozhenko A. V., Vid'machenko A. P. Polarimetry and Physics of Solar System Bodies. *Photopolarimetry in Remote Sens. NATO Sci. Ser. II: Mathematics, Physics and Chemistry*. 2005. 161. P. 369—384.
142. Morozhenko A. V., Vidmachenko A. P., Nevodovskii P. V. Aerosol in the upper layer of Earth's atmosphere. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2013. 29, № 5. P. 243—246.
143. Morozhenko A. V., Vidmachenko A. P., Nevodovskiy P. V., Kostogryz N. M. On the efficiency of polarization measurements while studying aerosols in the terrestrial atmosphere. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. 2014. 30, № 1. P. 11—21.
144. Morozhenko O. V., Vid'Machenko A. P. Tasks or the spectropolarimetric experiment aboard the International Space Station. *Kosm. nauka tehnol*. 2002. 8, № 5/6. P. 39—44.
145. Morozhenko O. V., Vid'Machenko A. P. Features of the method for mapping of physical characteristics of lunar surface according to the data of ultraviolet polarimetry. *17th Ukrainian Conference on Space Research: Abstrs*. Odessa, 2017.
146. Morozhenko O. V., Vidmachenko A. P. Possible space experiment “Mineralogical mapping of the Moon's surface”. *17th Ukrainian Conference on Space Research: Abstrs*. Odessa, 2017. P. 44.
147. Morozhenko O. V., Vidmachenko A. P., Nevodovskiy P. V., Choliy V. Ya. Monitoring of global climate change in the Earth from the Moon. *17th Ukrainian Conference on Space Research: Abstrs*. Odessa, 2017. P. 47.
148. Namiki N., Iwata T., Matsumoto K., Hanada H., et al. Farside Gravity Field of the Moon from Four-Way Doppler Measurements of SELENE (Kaguya). *Science*. 2009. 323, № 5916. P. 900—905.
149. *Future Astronomical Observatories on the Moon*. NASA CP-2489. NASA Conference Publication 2489 — Proc. workshop American Astronomical Society, Washington, D. C., and the NASA Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas, and held in Houston, Texas January 10, 1986 “Future astronomical Observatories on the Moon”. Ed. J. O. Burns. 1988.
150. Nefedyev Y. A., Valeev S. G., Mikeev R. R., Andreeva A. O., Varaksina N. Y. Analysis of data of “Clementine” and “Kaguya” missions and “ULCN” and “KSC-1162” catalogues. *Adv. Space Res*. 2012. 50, № 11. P. 1564—1569.
151. Nein M. E., Hilchey J. D. The Lunar Ultraviolet Telescope Experiment (LUTE): Enabling technology for an early lunar surface payload. *J. Brit. Int. Soc*. 1995. 48, № 2. P. 93—97.
152. Nevodovskiy P. V., Morozhenko O. V., Vidmachenko A. P., Ivakhiv O., Geraimchuk M., Zbrutskiy O. Tiny Ultraviolet Polarimeter for Earth Stratosphere from Space Investigation. *IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2015)*. Warsaw, Poland, 2015. 1. P. 28—32.
153. Nevodovskyy P. V., Vidmachenko A. P., Morozhenko O. V., Herayimchuk M. D., Ivakhiv O. V. Remote polarimetric study of the stratospheric ozone layer with onboard of microsatellite. *Thirteenth Int. Sci. Conf. «AVIA-2017»*. Kyiv: Nat. Aviation Univ., 2017. P. 26.5—26.9.
154. Nevodovskiy P. V., Vidmachenko A. P., Morozhenko O. V., Zbrutskiy O. V., Ivahiv O. V. Testing of the working model of electrophotopolarimeter on telescope. *Problems of modern power engineering and automation in the system nature management (theory, practice, history, education)*: Proc. 6 Int. Sci.-Techn. Conf. Kiev, 2017. P. 78—80.

155. Nevodovskiy P. V., Vidmachenko A. P., Morozhenko O. V., Zbrutskiy O. V., Ivahiv O. V. Application of remote polarization studies of the Earth in the national economy. *Problems of modern power engineering and automation in the system nature management (theory, practice, history, education)*: Proc. 6 Int. Sci.-Techn. Conf. Kiev, 2017. P. 73—75.
156. Newton I. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Londini [i.e. London]: Jussu Societatis Regiae ac Typis Josephi Streater, Anno 1686.
157. Noda H., Heki K., Hanada H. In situ Lunar Orientation Measurement (ILOM): Simulation of observation. *Adv. Space Res.* 2008. 42, № 2. P. 358—362.
158. Nozette S., Lichtenberg C. L., Spudis P. D., Bonner R., Ort W., Malaret E., Robinson M., Shoemaker E. M. The Clementine Bistatic Radar Experiment. *Science*. 1996. 274. P. 1495—1498.
159. Pall E., Goode P. R. The Lunar Terrestrial Observatory: Observing the Earth using photometers on the Moon's surface. *Adv. Space Res.* 2009. 43, № 7. P. 1083—1089.
160. Petrova N., Gusev A., Hanada H., Heki K., Kawano N. Interpretation of the Lunar physical libration for future observations from the Lunar surface. *European Planetary Science Congress 2008*: Proc. conf. Minster, Germany, 2008. P. 231.
161. Petrova N., Hanada H. Computer simulating of stellar tracks for observations with the lunar polar telescope. *Planet. Space Sci.* 2012. 68, № 1. P. 86—93.
162. Petrova N. K., Hanada H. Computer simulation of observations of stars from the moon using the polar zenith telescope of the Japanese project ILOM. *Solar System Res.* 2013. 47, № 6. P. 463—476.
163. Popov E. G. New long-baseline planetar/space/lunar-based interferometers. Proc. SPIE. Free-Space Laser Communication Technologies XII. G. Stephen Mecherle-2000. 3932. P. 206—208.
164. Porro I. A stellar interferometer on the Moon. PhD Thesis. University of Padova, 1997.
165. Qi Zh., Yu Yong, Cao Li, Cai H., Qiu Yu., Wei J., Tang Zh., Wang J., Deng J., Liao Sh., Guo S. Astrometric Support for the Lunar-based Ultraviolet Telescope. *Publs Astron. Soc. Pacif.* 2015. 127, № 957. P. 1152.
166. Rayman M. D., Sanders R. S. Optical Interferometry from the lunar surface. *Adv. Space Res.* 1996. 18, № 11. P. 45—48.
167. Robert M. L., Baker Jr. Utilization of the Laplacian method from a lunar observatory. *Icarus*. 1962—1963. 1, № 1—6. P. 343—345.
168. Romanyuk Ya. O., Kleschonok V. V., Reshetnyk V. M., Lukyanyk I. V., Svyatogorov O. O., Guziy S. S. The Kyiv internet telescope project. *Astron. Soc. India Conf. Ser.* 2012. 7. P. 297.
169. Romanyuk Ya. O., Kravchuk S. G., Kleschonok V. V. The Kyiv Internet telescope. *Bull. Ukr. Earth Orientation Parameters Laboratory*. 2013. 8. P. 68—70.
170. Romanyuk Ya. O., Vidmachenko A. P. KIT — automated small telescope. *Astron. School's Report*. 2015. 11, № 2. P. 157—162.
171. Ruan Zh., Liu G. Ding Y. Conceptual Research of Lunar-based Earth Observation for Polar Glacier Motion. *41st COSPAR Scientific Assembly*: abstracts. Turkey. Istanbul Congress Center (ICC), 2016. Abstract A0.2-27-16.
172. Samoylov A. V., Samoylov V. S., Vid'machenko A. P., Perekhod A. V. Using of Ahromatic and Super-Achromatic Zero-Order Waveplates in Polarimetric Astronomical Observations. *NATO Advanced Study Institute on Photopolarimetry in Remote Sensing and Workshop on Remote Sensing Techniques and Instrumentation*: International Cooperation. Eds G. Videen, Ya. Yatskiv, A. Vid'machenko, etc. Yalta — Kyiv, 2003. P. 82.
173. Samoylov A. V., Samoylov V. S., Vid'machenko A. P., Perekhod A. V. Achromatic and super-achromatic zero-order waveplates. *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer*. 2004. 88, № 1-3. P. 319—325.
174. Sarkar R., Chakrabarti S. K. Feasibility of spectrophotometry in X-rays (SPHINX) from the Moon. *Exp. Astron.* 2010. 28, № 1. P. 61—77.
175. Schrutka-Rechtenstamm G. Zur physischen Libration des Mondes. *Mitt. Univ. Sternw. Wien*. 1965. 8, № 10. P. 151—213.
176. Shapiro M. M., Silberberg R. Celestial sources of high-energy neutrinos as viewed from a lunar observatory. *Lunar bases and space activities of the 21st century*. Houston, TX, Lunar and Planetary Institute, 1985. P. 329—333.
177. Shapiro M. M., Silberberg R. High-energy neutrinos from a lunar observatory. *Goddard Space Flight Center 19th Intern. Cosmic Ray Conf.* 1985. 8. P. 160—163.
178. Shkuratov Y. G., Konovalenko A. A., Stanislavsky A. A., Lytvynenko L. N., Vavriv D. M., Yatskiv Y. S., Vavilova I. B., Vid'machenko A. P., Kordum E. L., Zarka Ph., Rucker H. O., Zakharenko V. V., Kalinichenko N. N., Ulyanov O. M., Sidorchuk M. A., Stepkin S. V. Feasible Objectives of Ukrainian Participation in Prospective Lunar Missions. *10th IAA Symposium on the Future of Space Exploration: Towards Space Village and Beyond*. Program. Torino, Italy, 2017. P. 2.
179. Shkuratov Yu. G., Kreslavsky M. A., Litvinenko L. N., Negoda A. A. A Prospective Ukrainian Lunar Orbiter Mission: Objectives and Scientific Payload. *33rd Annual Lunar and Planetary Science Conference*. Houston, Texas. 2002. Abstract 1234.
180. Shkuratov Yu. G., Lytvynenko L. M., Shulga V. M., Yatskiv Ya. S., Vidmachenko A. P., Kyslyuk V. S. Objectives of a prospective Ukrainian orbiter mission to the Moon. *Adv. Space Res.* 2003. 31, № 11. P. 2341—2345.

181. Slyuta E. N. Physical and mechanical properties of the lunar soil (a review). *Solar System Res.* 2014. 48, № 5. P. 330—353.
182. Stehling K. R. Lunar Observatory Ocean. Atmosphere Monitoring and Analysis for Global Change. Abstracts of papers presented to the Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century. Houston, TX, 1988. P. 232.
183. Stehling K. R., Levitt I. M. Lunar Astronomical Observatory. *Proceedings of the 1st Lunar International Laboratory (LIL) Symposium on Research in Geosciences and Astronomy*, org. by the International Academy of Astronautics at the 16th International Astronautical Congress Athens. Ed. by F. J. Malina. Wien: Springer, 1966. P. 48.
184. Stockman H. S. Space and lunar-based optical telescopes. *NASA Conf. Publ.* 1988. NASA CP-2489. P. 63—71.
185. Stooke P. J. Identification of the Chang'E 1 spacecraft impact site on the Moon. *Icarus.* 2019. 319. P. 334—336.
186. Sūn H., Dài Sh., Yáng J., Wú J., Jiāng J. Scientific objectives and payloads of Chang'E-1 lunar satellite. *J. Earth System Sci.* 2005. 114, № 6. P. 789—794.
187. *SURVEYOR Program Results.* NASA. 1969. 436 p.
188. Swanson P. N. The proposed NASA lunar-based astronomical observatories. *Engineering, construction, and operations in space III: Space '92; Proceedings of the 3rd International Conference*, Denver, CO, 1992. 2. P. 1798—1808.
189. Syniavskiy I., Ivanov Yu., Vidmachenko A. P., Sergeev A. Using a polarizing film in the manufacture of panoramic Stokes polarimeters at the Main Astronomical Observatory of NAS of Ukraine. *Proc. Int. conf. M.: Yanus-K*, 2015. P. 309—315.
190. Takahashi Y. A Lunar far side radio array as the first astronomical observatory on the Moon: Precursor Studies. *EGS XXVII General Assembly*, Nice, 2002. Abstract #5174.
191. Takahashi Y. D. A concept for a simple radio observatory at the lunar south pole. *Adv. Space Res.* 2003. 31, № 11. P. 2473—2478.
192. Takahashi Y. D. Radio Interferometer Observatory Near the Lunar South Pole. *Proc. of the Int. Lunar Conf. 2003.* Int. Lunar Exploration Working Group 5: ILC2003 — ILEWG 5. Ed. S. M. Durst. 2004. 108. P. 77.
193. Taylor G. J., Burns J. O., Fernini I., Johnson S. Site Selection Criteria for Astronomical Observatories on the Moon. *Abstracts of papers presented to the Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century.* Houston, TX, 1988. P. 238.
194. Tengström E. Meeting of the Special Study Group. Vol. 49 of IAG on "Use of Geodetic Data for Studies of the Earth-moon System". *Bull. Géod.* 1978. 52, № 4. P. 335—336.
195. Thompson R. Infrared Detectors for a 10 m Space or Lunar Telescope. The Next Generation Space Telescope, Proceedings of a Workshop. Baltimore, Maryland. September 13—15 1989. Ed. by P.-Y. Bely, C. J. Burrows, G. D. Illingworth. Baltimore, MD: Space Telescope Science Institute and Washington: NASA, 1990. P. 310.
196. Tsuboi M., Kaifu N., Karoji H., Takeuchi S., Iwata T., Itoh N., Miyahara N. The Future Japanese Cosmic Background Anisotropy Observatory at the Moon. *Astronomy from the Moon: 23rd meeting of the IAU, Joint Discussion 22 — 27 August 1997.* Kyoto, Japan, meeting.
197. van Susante P. Design and Construction of a Lunar South Pole Infrared Telescope (LSPIRT). *34th COSPAR Scientific Assembly, The Second World Space Congress.* Houston, TX, USA, 2002. meeting abstract.
198. Vid'machenko A. P. Information-measuring and registering system of an astronomical polarimeter. *Baltic Astron.* 2000. 9. P. 670—671.
199. Vid'machenko A. P., Delec A. S., Nevodovskiy P. V., Andruk V. M. Digital panoramic polarimeter for remote investigation of an optical parameter of celestial bodies. *Bull. Nat. Techn. Univ. Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute».* Ser. Instrument Making. 2003. 26. P. 12—18.
200. Vid'Machenko A. P., Ivanov Yu. S., Morozhenko A. V., Sosonkin M. G. UK spectrometer-polarimeter for planetary monitoring aboard the ISS. *Kosm. nauka tehnol.* 2002. 8, № 5/6. P. 45—50.
201. Vid'Machenko A. P., Morozhenko A. V. Mapping of physical characteristics of the Moon's superficial layer and ultra-violet polarimetry from a lunar orbital station. *Kosm. nauka tehnol.* 2004. 10, № 5/6. P. 21—27.
202. Vid'machenko A. P., Morozhenko A. V. Mapping of the physical characteristics and mineral composition of a superficial layer of the Moon or Mars and ultra-violet polarimetry from the orbital station. *36th Lunar and Planetary Science Conference.* League City, Texas, 2005. Abstract #1015.
203. Vid'Machenko A. P., Morozhenko A. V. The application of the brewster angle data for the lunar surface mapping by the real part of the refractive index. *Solar System Res.* 2006. 40, № 6. P. 462—467.
204. Vid'machenko A. P., Nevododvsky P. V. A cooled photomultiplier with an InGaAs photocathode developed for the spectropolarimetry observations. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl.* 2000. № 3. P. 283—285.
205. Vid'Machenko A. P., Nevodovskiy P. V. Experimental observations with cooled photometric head on the basis of a photomultiplier with the InGaAs photocathode. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.* 2000. 16, № 1. P. 72—79.



206. Vidmachenko A., Nevodovskiy P., Bardash O. Astronomical spectropolarimeter for remote investigation of an optical and physical properties of solar system bodies. *Bull. Nat. Techn. Univ. Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ser. Instrument Making.* 2003. 25. P. 45—52.
207. Vidmachenko A. P. Observations of planets in UV. Proc. conf. «Scientific prospects of the space ultraviolet observatory SPECTRUM-UV». Eds B. M. Shustov, D. S. Wiebe. Moscow: GEOS, 2001. P. 209—220.
208. Vidmachenko A. P., Geraimchuk M. D., Dubinec V. I., Nevodovskiy E. P., Nevodovskiy P. V., Petrenko S. F. Ways of the modulation of the polarized light in astronomical device. *Bull. Nat. Techn. Univ. Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ser. Instrument Making.* 2004. 27. P. 61—66.
209. Vidmachenko A. P., Ivanov Yu. S., Morozhenko A. V., Nevodovsky E. P., Syniavskiy I. I., Sosonkin M. G. Spectropolarimeter of ground-based accompanying for the space experiment «Planetary Monitoring». *Kosm. nauka tehnol.* 2007. 13, № 1. P. 63—70.
210. Vidmachenko A. P., Ivanov Yu. S., Syniavskiy I. I. The development of the imaging polarimeter's polarizer on the basis of the polarizing film. *Kosm. nauka tehnol.* 2015. 21, № 4. P. 19—23.
211. Vidmachenko A. P., Morozhenko A. V., Delets A. S., Nevodovskii P. V., Sosonkin M. G., Ivanov Yu. S., Andruk V. M. Digital panoramic polarimeter for ground-based attending the space experiment “Planetary monitoring”. *Kosm. nauka tehnol.* 2003. 9, № 2. P. 5—9.
212. Vidmachenko A. P., Nevodovskiy E. P., Ivanov J. S. The unified optics-mechanical block for surface astronomical devices. *Bull. Nat. Technical Univ. Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ser. Instrument Making.* 2007. 33. P. 41—48.
213. Vidmachenko A. P., Nevodovskiy E. P., Nevodovskiy P. V. Light modulators for astronomical polarimeters. *Astron. School's Report.* 2005. 5, № 1-2. P. 236—241.
214. Vilas F. Astronomical Observatories on the Moon. *Abstrs Lunar and Planet. Sci. conf.* 1991. 22. P. 1445.
215. Walker A. B. C., Timothy J., Hoover R. Astronomical EUV/X-ray observatories on the moon. *Astrophysics from the Moon: Proceedings of the Workshop*, Annapolis, MD. New York, American Institute of Physics, 1990. P. 553—566.
216. Wang J., Cao Li, Meng X.-M., Cai H.-Bo, Deng J.-S., Han Xu-Hui, Qiu Yu-Lei, Wang F., Wang Sh., Wen Wei-Bin, Wu Ch., Wei J.-Y., Hu J.-Yao. Photometric Calibration of the Lunar-based Ultraviolet Telescope for Its First Six Months of Operation on the Lunar Surface. *Res. Astron. and Astrophys.* 2015. 15, N 7. Article id. 1068.
217. Warren P. H. The Moon. *Treatise on Geochemistry*. Ed. A. M. Davis. Executive Editors: H. D. Holland, K. K. Turekian. Elsevier, 2003. 1. P. 559—599.
218. Williams J. G., Boggs D., Yoder Ch., Ratcliff J., Dickey J. Lunar rotational dissipation in solid body and molten core. *J. Geophys. Res.* 2001. 106E, № 11. P. 27,933—27,968.
219. Wilson K. The first lunar observatory. *Astron. Now.* 1995. 9, № 7. P. 48—54.
220. Wilson Th. L. Particle astronomy and particle physics from the moon — The particle observatory. *Astrophysics from the Moon: Proc, Workshop*, Annapolis, MD. New York, American Institute of Physics, 1990. P. 608—621.
221. Woan G. Design Considerations for a Moon-Based Radio Telescope Operating at Frequencies below 16 MHz. *Large Antennas in Radio Astronomy*. Proceedings of the workshop. Ed. C. G. M. Van't Klooster, A. Van Ardenne. Noordwijk, Netherlands: ESTEC, 1996. P. 101.
222. Woodgate B. E. Visible and Ultraviolet Detectors for High Earth Orbit and Lunar Observatories. *The Next Generation Space Telescope*. 1990. P. 296.
223. Xiao L, Wang Q. China's Lunar Exploration Programme. *2017 Annual Meeting of the Lunar Exploration Analysis Group*. 2017. LPI Contribution No. 2041. id.5092.
224. Yano T., Gouda N., Kobayashi Y., Tsujimoto T., Nakajima T., Hanada H., Kanya Y., Yamada Y., Araki H., Tazawa S., Asari K., Tsuruta S., Kawano N. CCD Centroiding Experiment for the Japan Astrometry Satellite Mission (JASMINE) and In Situ Lunar Orientation Measurement (ILOM). *Publs Astron. Soc. Pacif.* 2004. 116, № 821. P. 667—673.
225. Ye H., Liu G., Ren Y., Guo H., Ding Y. Analysis of visibility simulation of three polar regions from lunar-based earth observation. *41st COSPAR Scientific Assembly*. Istanbul, Turkey, 2016. Abstract A0.2-16-16.
226. Yichun X., Zongyao S., Mei Yu. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *J. Plant. Ecology.* 2008. 1, № 1. P. 9—23.
227. Yingzhuo J., Yongliao Z., Jinsong P. Changbin X., JunY., Yuanming N. The scientific objectives and payloads of Chang'E-4 mission. *Planet. and Space Sci.* 2018. 162, № 1. P. 207—215.
228. Zhang H., Yang Y., Yuan Ye, Jin W., Lucey P.G., Zhu M.-H., Kaydash V.G., Shkuratov Y.G., Di K., Wan W., Xu Bin, Xiao L., Wang Z., Xue Bin. In situ optical measurements of Chang'E-3 landing site in Mare Imbrium. 1. Mineral abundances inferred from spectral reflectance. *Geophys. Res. Lett.* 2015. 42, № 17. P. 6945—6950.
229. Zhang Zh., Zhang L., Tang Yi, Huang G. Lunar-based solar telescope of multi-wavelength. *Proc. SPIE.* 2010. 7849. id. 78492M.
230. Zheng Y.-Ch., Chan K. L., Tsang K. T., Zhu Y.-Ch., Hu G. P., Blewett D. T., Neish C. Analysis of Chang'E-2 brightness temperature data and production of high spatial resolution microwave maps of the Moon. *Icarus.* 2019. 319. P. 627—644.

231. Zuber M. The Interior of the Moon from the Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) Mission. EGU General Assembly 2015. Vienna, Austria, 2015. id.7269.

Стаття надійшла до редакції 14.12.2017

## REFERENCES

1. Aleksandrov Yu. V. (2009). Vozmuschennoe dvizhenie iskusstvennogo suputnika Luny po proektu «Ukrseleena». *Kosm. nauka tehnol.*, 15(1), 5–8 [in Russian].
2. Belkovich I. V. (1949). Fizicheskaya libratiya Luny. *Izvestiya OAE*, 24, 1–246 [in Russian].
3. Zharkov V. N., Pankov V. L., Kalachnikov A. A., Osnach A. I. (1969). *Vvedenie v fiziku Luny*. M.: Nauka [in Russian].
4. Kislyuk V. S. (1972). Deformatsiya selenodezicheskoy opornoy seti pod vliyaniem oshibok postoyannykh vrascheniya Luny. *Astrometriya i astrofizika*, 16, 30–40 [in Russian].
5. Kislyuk V. S. (1988). Geometricheskie i dinamicheskie karakteristiki Luny. K.: Naukova dumka [in Russian].
6. Kolachek B., Rogovski E. (1975). Opredelenie selenograficheskikh koordinat i parametrov vraschatelnogo dvizheniya Luny s ee poverhnosti po izmereniyam zenitnykh rassutoyaniy. *Astron. zhurnal*, 52(4), 867–874 [in Russian].
7. Kondratyuk Yu. (1972). Zavoyuvannya mizhplanetnih prostoriv. Nyu-York [in Russian].
8. Kulikovskiy P. G. (1961). Yan Geveliy (k 350-letiyu so dnya rozhdeniya). *Istoriko-astronomicheskie issledovaniya*, 7, 257–288 [in Russian].
9. Levantovskiy V. I. (1980). *Mehanika kosmicheskogo poleta v elementarnom izlozhenii*. 3-e izd. M.: Nauka [in Russian].
10. Moutsulas M. D. (1973). Libratsii Luny. V kn. *Fizika i astronomiya Luny pod. red. Z. Kopala*. M. Mir, 36–70 [in Russian].
11. Nefedev A. A. (1963). Vyivod postoyannykh fizicheskoy libratsii Luny po metodu krakoviana. *Izv. AOE*, 34, 3–38 [in Russian].
12. Stolyarov G. M. (1980). Parametry fizicheskoy libratsii Luny, vyvedennyye iz Kazanskikh geliometricheskikh ryadov nablyudeniya Luny. *Trudy Kazan. Gor. Astron. Observatorii*, 46, 141–165 [in Russian].
13. Habibulin Sh. T. (1961). Vyivod postoyannykh fizicheskoy libratsii Luny iz geliometricheskikh nablyudeniya Gartviga v Tartu (Derpte) po dannym obrabotki K. Kozela. *Trudy Kazan. Gor. Astron. Observatorii*, 33, 1–16 [in Russian].
14. Habibulin Sh. T. (1966). Nelineynaya teoriya fizicheskoy libratsii luny. *Trudy Kazan. Gor. Astron. Observatorii*, 34, 3–70 [in Russian].
15. Habibullin Sh. T. (1988). Razvitie teorii fizicheskoy libratsii Luny i selenotsentricheskie sistemy koordinat. *Kinematika i fizika nebesnykh tel*, 4(1), 35–42 [in Russian].
16. Tsiolkovskiy K. E. (1938). Na Lune. *Grezyi o Zemle i nebe*, Izd. Vtoroe, M.-L.: GONTI [in Russian].
17. Choliy V., Bahonskiy A. (1990). Opredelenie vidimyykh mest zvezd, Dep. VINITI, 5005-V90 [in Russian].
18. Shakirov K. S. (1976). Dvizhenie Luny otноситelno tsentra mass. Saratov, izd. Saratovskogo un-ta [in Russian].
19. Shevchenko V. V. (1963). Vidimyye peremescheniya Zemli na nebe Luny. *Kosm. issledovaniya*, 1(2), 216–220 [in Russian].
20. Shevchenko V. V. (1967). Astroorientatsiya na Lune pri fizicheskikh issledovaniyakh. *Kosm. issledovaniya*, 5(6), 930–938 [in Russian].
21. Shkuratov Yu. G., Bondarenko N. V., Kachanov A. S. (1998). Zadachi lunnogo polyarnogo sputnika posle KA «Klementina». *Kosm. nauka tehnol.*, 4(1), 46–53 [in Russian].
22. Shkuratov Yu. G., Kaydash V. G., Pieters C. M. (2005). Lunar Clinopyroxene and Plagioclase: Surface Distribution and Composition. *Solar System Res.*, 39(4), 255–266.
23. Shkuratov Yu. G., Kislyuk V. S., Litvinenko L. N., Yatskiv Ya. S. (2004). Model Luny 2004 dlya proekta «Ukrseleena». *Kosm. nauka tehnol. Dodatok 2*, 52 [in Russian].
24. Yakovkin A. A. (1961). Metod pozitsionnykh uglov dlya opredeleniya fizicheskoy libratsii Luny. *Izv. GAO AN USSR*, 4(1), 3–13 [in Russian].
25. Yakovkin A. A. (1963). Astrometriya na Lune (programma astrometricheskikh nablyudeniya na statsionarnoy Lunnoy observatorii). *Trudy 15-y astrometricheskoy konferentsii SSSR*, 412–416 [in Russian].
26. Yakovkin A. A. (1963). Otchet o rabote podkomissii po izucheniyu dvizheniya i figury Luny za 1958–1960. *Trudy 15-y astrometricheskoy konferentsii SSSR*, 29–31 [in Russian].
27. Yakovkin A. A., Demenko I. M., Miz L. N. (1965). Formuly i metody lunnoy prakticheskoy astrometrii. *Trudy 16-y astrometricheskoy konferentsii SSSR*, 119–121 [in Russian].
28. Yakovkin A. A., Kizyun L. N., Demenko I. M. (1964). Formuly i efemeridy dlya polevykh nablyudeniya na Lune. K.: Nauk. Dumka [in Russian].
29. Angel R., Eisenstein D., Sivanandam S., Worden S. P., Burge J., Borra E., Gosselin C., Seddiki O., Hickson P., Ma Ki Bui, Foing B., Jossset J.-L., Thibault S., Van Susante P. (2006). A Lunar Liquid Mirror Telescope (LLMT) for deep-field infrared observations near the lunar pole. *Space Telescopes and Instrumentation I: Optical, Infrared, and Millimeter*. Ed. by J. C. Mather, H. A. MacEwen, M. W. M. de Graauw. *Proceedings of the SPIE*. 6265, id. 62651U.
30. Arnold H. J. P. (1972). The moon's first astronomical observatory. *Br. J. Photogr.*, 119, 310–311.
31. Bandfield J. L., Hayne P. O., Williams J. -P., Greenhagen B. T., Paige D. A. (2015). Lunar surface roughness derived from LRO Diviner Radiometer observations. *Icarus*, 248, 357–372.

32. Bely P. Y., Breckinridge J. B. (1994). Space astronomical telescopes and instruments. *Proc. of the Meet. SPIE*. Orlando, FL, 1991. 544 p.
33. Bestwick J. D. (1961). Reports of Sections: Report of Lunar Section Meeting. *J. Brit. Astron. Assoc.*, 71, 241.
34. Bhandari N., Srivastava N. (2015). Active moon: evidences from Chandrayaan-1 and the proposed Indian missions. *Geosci. Lett.*, 1. Article id.11, 12 p.
35. Borra E. F., Seddiki O., Angel J. R. P., Worden S. P., Eisenstein D., Silvanandam S., Hickson P., Ma K. A. (2005). Deep-Field Infrared Observatory Near the Lunar Pole. *J. Roy. Astron. Soc. Can.*, 99(4), 134.
36. Borra W. (1991). The Case for a Liquid Mirror in a Lunar-Based Telescope. *Astrophys. J.* 373, 317—321.
37. Bruston P., Mumma M. J. (1994). Solar system exploration from the Moon: Synoptic and comparative study of bodies in our Planetary system. *Adv. Space Res.* 14(6), 143—158.
38. Burke B. F. (1985). Astronomical Interferometry on the Moon. *Lunar Bases and Space Activities in the 21st Century*. Houston, Lunar and Planetary Institute. P. 281—291.
39. Burke J. D. (1989). Lunar observatories. *Spaceflight*, 31, 308—309.
40. Burke J., Kaltenecker L. (2017). Advantages of a Lunar Cryogenic Astronomical. *19th EG. General Assembly, EGU2017*. Proc. conf. Vienna, Austria. P. 9326.
41. Burlak O., Zaetz I., Soldatkin O., Rogutskyy I., Danilchenko B., Mikheev O., de Vera J.-P., Vidmachenko A., Foing B., Kozyrovska N. (2010). The inducible CAM plants in putative lunar lander experiments. *38th COSPAR Scientific Assembly*. P. 11.
42. Burns J. (1985). A Moon-Earth Radio Interferometer. *Lunar Bases and Space Activities in the 21st Century*. Houston, Lunar and Planetary Institute. P. 293—300.
43. Burns J. O. (1990). A review of recent lunar observatories workshops. *Astrophysics from the Moon: Proc. of the Workshop*. New York. P. 305—314.
44. Burns J. O. The Moon as a Site for Astronomical Observatories. *The Next Generation Space Telescope*. 1990. P. 341.
45. Burns J. O., Mendell W. W. (1988). Future Astronomical Observatories on the Moon. *Future Astronomical Observatories on the Moon*. Workshop held in Houston, TX, 10 Jan. 1986; sponsored by NASA, Johnson Space Flight Center, Houston, TX and American Astronomical Society. Washington, DC.
46. Cao Li, Ruan P., Cai H., Deng J., Hu J., Jiang X., Liu Zh., Qiu Y., Wang J., Wang Sh., Yang J., Zhao F., Wei J. (2011). LUT: A lunar-based ultraviolet telescope. *Sci. China Phys., Mech. and Astron.*, 54(3), 558—562.
47. Cappalo R. J., King R. W., Counselman C. C., Shapiro J. J. (1981). Numerical model of the Moon's rotation. *Moon and Planets*, 24(3), 281—289.
48. Cassini G. D. (1693). *Traité de l'origine et du progrès de l'astronomie*. Paris: Gauthier-Villars.
49. Chen P. C., Van Steenberg M. E., Oliverson R. J. (2008). Moon dust telescopes, solar concentrators, and structures. American Astronomical Society. AAS Meeting #212, id.25.07. *Bull. Amer. Astron. Soc.*, 40, 223.
50. Choliy V. Ya. (2014). On the precision estimation of fundamental planetary ephemerides. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 30(6), 304—307.
51. Choliy V. Ya., Kazantseva L. V., Morozhenko O. V., Vidmachenko A. P., Nevodovskyi P. V. (2017). Observations of stars from the lunar surface for the study of libration. *International Conference Astronomy and Space Physics in Kyiv University: abstracts*. Kyiv, P. 98—100.
52. Choliy V. Ya., Vidmachenko A. P., Kazantseva L. V., Morozhenko O. V., Nevodovskyi P. V. (2017). Study of Moon's physical libration by observing the sky from its surface. *17th Ukrainian Conference on Space Research: Abstracts*. Odessa, P. 48.
53. Choliy V. Ya., Vidmachenko A. P., Kazantseva L. V., Nevodovskyi P. V. (2017). Investigation of the Moon's libration according to observations of stars from its surface. *19 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists*. The program and abstracts. Bila Tserkva, P. 78—79.
54. Colaprete A., Ennico K., Wooden D., Shirley M., Heldmann J., et al. (2010). Water and More: An Overview of LCROSS Impact Results. 41st Lunar and Planetary Science Conference. March 1—5 2010. The Woodlands, Texas. P. 2335.
55. Colaprete A., Schultz P., Heldmann J., Wooden D., Shirley M., Ennico K., Hermalyn B., Marshall W., Ricco A., Elphic R. C., Goldstein D., Summy D., Bart G. D., Asphaug E., Korycansky D., Landis D., Sollitt L. (2010). Detection of water in the LCROSS ejecta plume. *Science*, 330, 463—468.
56. Crites S. T., Lucey P. G. (2010). Characterization of Lunar Soils Using a Thermal Infrared Microscopic Spectral Imaging System. American Geophysical Union. Fall Meeting. Abstract #P53A-1505.
57. Cutts J. A., Swanson P. (1990). Four lunar astronomical observatories — Concepts developed in the NASA 90-day study for the Human Exploration Initiative. *Astrophysics from the moon*. Proc. of the Workshop. New York: American Institute of Physics. P. 528—537.
58. Davis J. M., Balasubramaniam, K. S., Gary G. A., Moore R. (1990). A lunar based solar observatory — Rationale and concepts. *Astrophysics from the moon*. Proceedings of the Workshop. New York: American Institute of Physics. P. 567—577.
59. Di Cara D. M., Estublier D. (2005). Smart-1: An analysis of flight data. *Acta Astronautica*, 57, 250—256.
60. Douglas J. N., Smith H. J. (1985). A very low frequency radio astronomy observatory on the moon. *Lunar bases and space activities of the 21st century*. Houston, TX, Lunar and Planetary Institute. P. 301—306.

61. Douglas J. N., Smith H. J. (1988). A very low frequency radio astronomy observatory on the Moon. *NASA Conf. Publ.* NASA CP-2489. P. 113–118.
62. Drear R. J., Caylor M. A., Choi D. U., Edelson C. R., Gurley J. G., Hagen F. A., Landecker P. B., Su G. W., Tillman M. L., Wassgren C. R. (1991). Engineering design of an unmanned lunar radio observatory. *Robotic telescopes in the 1990s: Proceedings of the Symposium, 103rd Annual Meeting of the Astronomical Society of the Pacific, Univ. of Wyoming, Laramie. June 22-24* P. 347–358.
63. Durst S. (2004). International Lunar Observatories and Power Stations: From Hawaii to the Moon. *Proc. of the Intern. Lunar Conf. 2003*. San Diego CA, USA. P. 67.
64. Durst S. (2008). International Lunar Observatory Association (ILOA): 3 Mission Update — ILO-X Precursor, ILO-1 Polar, ILO Human Service Mission. *Joint Annual Meeting of LEAG-ICEUM-SRR*. Cape Canaveral, Florida. LPI Contrib. No. 1446.
65. Durst S. (2015). International Lunar Observatory Association Advancing 21st Century Astronomy from the Moon. *IAU General Assembly. Meeting #29*, id.2255715.
66. Durst S. (2018). Astronomy from the Moon: A New Frontier for 21st Century Astrophysics. *American Astronomical Society — AAS Meeting #232*. id. 402.01.
67. Eckhardt D. H. (1981). Theory of the libration of the Moon. *Moon and Planets*, 25(1), 3–49.
68. Exploring the Universe: Space-Based Astronomy and Astrophysics (J. M. Logsdon) (2001). Ed. Amy Paige Snyder, R. D. Launius, S. J. Garber, and Regan Anne Newport. Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration, NASA History Office, Office of Policy and Plans. T.V: Exploring the Cosmos. P. 501–545.
69. Foing B. H. (2016). Community Report and Recommendations from International Lunar Exploration Working Group (ILEWG). *41st COSPAR Scientific Assembly: abstracts*. Turkey: At the Istanbul Congress Center (ICC). Abstract PEX.1-2-16.
70. Foing B. H. (2016). Towards a Moon Village: Community Workshops Highlights. *41st COSPAR Scientific Assembly: abstracts*. Turkey: At the Istanbul Congress Center (ICC). Abstract PEX.2-7-16.
71. Frontera F., de Chiara P., Pasqualini G. (1994). Hard X-ray (greater than 10 keV) telescope for space astronomy from the Moon. *Adv. Space Res.*, 14(6), 89–96.
72. Genet R. M., Hayes D. S., Boyd L. J. (1990). Autonomous Robotic Observatories (AROs) on the Moon and Earth. *Int. Amateur-Professional Photoelectric Photometry Commun.*, No. 42, 28.
73. Gleckler A. D., Pflibsen K. P., Ulich B. L., Smith D. D. (1991). Surface control techniques for the segmented primary mirror in the large lunar telescope. *Space stronomical telescopes and instruments: Proceedings of the Meeting, Orlando, A92-45151 19-89*. Bellingham, WA. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, P. 454–471.
74. Gopalswamy N., MacDowall R. J., Kaiser M. L., De-maio L.D., Bale S. D., Howard R. E., Jones D. L., Kasper J. C., Kassim N. E., Lazio J. W., Weiler K. W., Reiner M. J. (2006). Mission Concepts for Spacecraft and Lunar-based Radio Source Imaging at Frequencies below the Ionospheric Cutoff. *Long Wavelength Astrophysics, 26th meeting of the IAU, Joint Discussion 12*. Prague, Czech Republic. JD12, #21.
75. Gorenstein P. (1990). High throughput X-ray telescope on a lunar base. *Astrophysics from the moon: Proceedings of the Workshop*. Annapolis, MD (A91-56576 24-89). New York: American Institute of Physics. P. 382–392.
76. Gorgolewski S. (1966). Lunar Radio Astronomy Observatory. *Proceedings of the 1st Lunar International Laboratory (LIL) Symposium on Research in Geosciences and Astronomy: 16th International Astronautical Congress, Athens*. Ed. F. J. Malina. Wien: Springer. P. 78.
77. Grande M., Swinyard B., Joy K. H., Kellett B. J., Crawford I. A., Howe C. J. (2008). X-ray Fluorescence Observations of the Moon by SMART-1/D-CIXS. *European Planetary Science Congress 2008*. Proc. of the conference. Münster, Germany. P. 532.
78. Grun E., Horanyi M., Auer S., Robertson S., Srama R., Sternovsky Z. (2008). Dust Telescope on the Lunar Surface. *NLSI Lunar Science Conference*. Moffett Field, California: NASA Ames Research Center. LPI Contribution No. 1415, abstract no. 2132.
79. Guo H., Liu G., Ding Y., Zhang D. (2012). Conceptual Research of Lunar-Based Earth Observation for Global Environmental Change. *39th COSPAR Scientific Assembly*. Mysore, India. Abstract E2.2-7-12. P. 684.
80. Gusev A., Hanada H., Kikuchi F., Matsumoto K., Kosov A., Nefedyev Y., Petrova N., Ping J., Titov O. (2014). Lunar radio-beacons and geodetic VLBI system for determination of physical libration of the Moon. *40th COSPAR Scientific Assembly*. Moscow, Russia. Abstract B0.1-57-14.
81. Hall R. C. (1977). Lunar impact. *NASA history series. I. Project Ranger. NASA*. Vol. 476, p. 7.
82. Hanada H., Araki H., Tazawa S. (2012). Development of a digital zenith telescope for advanced astrometry. *Sci. China-Phys., Mech. Astron.*, 55(4), 723–732.
83. Hanada H., Ping J., Funazaki K., Kawano N., Petrova N. (2010). Development of a photographic zenith tube for observation of the lunar rotation and the deflection of the vertical. *Proc. IAG Symp. on Terrestrial Gravimetry*. Saint Petersburg, Russia. P. 125–129.
84. Hayn F. (1914). Die Rotationselemente des Mondes und der definitive Ort von M sting A. *Astron. Nachr.*, 199(18), 261–263.
85. Hilchey J. D., Nein M. E. (1995). Lunar-based optical telescopes: Planning astronomical tools of the twenty-first century. *J. Brit. Int. Soc.*, 48(2), 77–82.
86. Huang Ch.-Li. (2015). LOTT: A new small telescope to monitor lunar orientation parameters. *IAU General Assembly. Meeting #29*, id.2300711.

87. Iakovkin A. A. (1964). *Formulas and Ephemerides Intended for Field Observations on the Moon*. Kiev: Naukova dumka.
88. Illingworth G. D. (1990). 16 M UV-visible-IR lunar-based telescope. *Astrophysics from the moon*: Proceedings of the Workshop, Annapolis, A91-56576 24-89. New York: American Institute of Physics. P. 472—485.
89. Isobe S. (1995). Ground-based and Lunar-based Observations of Near-Earth Asteroids. *Proceedings of the 27th Symposium on Celestial Mechanics*. Ed. by Hiroshi Kinoshita and Hiroshi Nakai. Tokyo, Japan. P. 45.
90. Isobe S. (1997). JAPAN Neo Team. A Strategy to detect the NEOs: From Ground-based to Lunar-based Observations. Interactions between Planets and Small Bodies. *23rd meeting of the IAU, Joint Discussion 6*. Meeting abstract. Kyoto, Japan.
91. Isobe S. (1999). Proposed lunar-based telescopes for NEO observations. *Adv. Space Res.*, 23(11), 1861—1863.
92. Iwata T., Imai K., Misawa H., Noda H., Kondo T., Nakajo T., Takeuchi H., Kumamoto A., Tsuchiya F., Nariyuki Y., Asari K., Kawano N. (2010). A Study on the Moon-Earth Baseline Interferometry for Jovian Low Frequency Radio Observation. *41st Lunar and Planetary Science Conference*. The Woodlands, Texas: LPI Contribution No. 1533. P. 1677.
93. Jeong M., Choi Y.-J., Kim S. S., Kang K.-I., Shkuratov Y. G., Kaydash V. G., Videen G., Sim C. K., Kim I.-H. (2017). Preliminary Design of Wide-Angle Polarimetric Camera for the First Korean Lunar Mission. *Third Planetary Data Workshop and The Planetary Geologic Mappers Annual Meeting*. Flagstaff, Arizona. LPI Contribution No. 1986. id.7035.
94. Jin W., Zhang H., Yuan Y., Yang Y., Shkuratov Y.G., Lucey P.G., Kaydash V.G., Zhu M.-H., Xue Bin, Di K., Xu Bin, Wan W., Xiao L., Wang Z. (2015). In situ optical measurements of Chang'E-3 landing site in Mare Imbrium: 2. Photometric properties of the regolith. *Geophys. Res. Lett.*, 42(20), 8312—8319.
95. Johnson C. L., Dietz K. L. (1991). Effects of the lunar environment on optical telescopes and instruments. *Space astronomical telescopes and instruments*: Proceedings of the Meeting, Orlando. A92-45151 19-89. Bellingham, WA: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. P. 208—218.
96. Johnson S. W. (1988). Design of lunar base observatories. *NASA Conf. Publ., NASA CP-2489*, 127—134.
97. Johnson S. W., Burns J. O., Chua K. M., Duric N., Gershtle W. H. (1990). Lunar astronomical observatories — Design studies. *J. Aerospace Eng.* 3. P. 211—222.
98. Johnson S. W., Leonard R. S. (1984). Lunar-based platforms for an astronomical observatory. *Optical Platforms. SPIE Proc.*, 493, 147.
99. Johnson S. W., Rohloff K. J., Whitmire J. N., Pyrz A. P., Ullrich G. W., Lee D. G. (1971). The Lunar Regolith as a Site for an Astronomical Observatory. *Space Technology and Science: Proceedings of the ninth international symposium*. Tokyo, Japan. P. 1059.
100. Johnson S. W., Taylor G. J., Wetzel J. P. (1992). Environmental effects on lunar astronomical observatories. *The Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st. Century NASA*. Johnson Space Center. 1. P. 329—335.
101. Johnson S. W., Wetzel J. P. (1988). Advanced technology for a lunar astronomical observatory. *Engineering, construction, and operations in space*: Proceedings of the Space '88 Conference, Albuquerque. New York: American Society of Civil Engineers. P. 1102—1113.
102. Johnson S. W., Wetzel J. P. (1990). Required Technologies for A 10-16 m UV-Visible-IR Telescope on the Moon. *The Next Generation Space Telescope*. P. 348.
103. Jones D. L., MacDowall R. J., Bale S. D., Demaio L., Kasper J. C., Weiler K. W. (2005). Moon-based Epoch of Reionization Imaging Telescope (MERIT). *Bull. Amer. Astron. Soc.*, 37, 458.
104. Johnson S. W. (1988). Design of Lunar Base Observatories. Future Astronomical Observatories on the Moon. *NASA Conf. Publ., NASA CP-2489*, 127—134.
105. Karoji H. (2000). From Ground Astronomy to Space and Lunar Astronomical Observatory. *Proc. Adva. Space Technol. Workshop*, 222.
106. Kassim N., Weiler K. W., Lazio J. W., MacDowall R. J., Jones D. L., Bale S. D., Demaio L., Kasper J. C. (2007). Solar and Planetary Observations with a Lunar Radio Telescope. American Geophysical Union, Fall Meeting. Abstract #SH33A-12.
107. Kaula W. M., Baxa P. A. (1973). The physical libration of the Moon, including higher harmonic effect. *Moon*, 8(3), 287—307.
108. Kazantseva L. V., Kislyuk V. S. (2007). History of lunar astrometry research in Kyiv. *Studies of the near-Earth and small bodies of the Solar system*: Proceedings of the international scientific conference. Nikolaev: Atoll. P. 300—307.
109. Keller J. W., Petro N. E. (2017). The Lunar Reconnaissance Orbiter Cornerstone Mission: A Focused and Synergistic Study of Fundamental Solar System Processes at the Moon. *48th Lunar and Planetary Science Conference*. At The Woodlands, Texas. LPI Contribution No. 1964. id.2448.
110. King R. W., Counselman C. C., Shapiro J. J. (1976). Lunar Dynamics and selenodesy: results from analysis of VLBI and laser data. *J. Geophys. Res.*, 81(35), 6251—6256.
111. Kislyuk V. S. (2013). Space exploration of the Moon: current status and prospects (review). *Kosm. nauka tehnol.*, 19(3), 5—20.
112. Klimas P., Rowlands N., Hickson P., Borra E. F., Thibault S. (2010). Lunar liquid mirror telescope: structural concepts. *Space Telescopes and Instrumentation 2010: Ultraviolet to Gamma Ray*. Eds Arnaud, Monique;

- Murray, Stephen S.; Takahashi, Tadayuki. Proceedings of the SPIE. 7732. article id. 77322U. 12 p.
113. Koch D. G., Hughes B. E. (1989). Arcsec source location measurements in gamma-ray astronomy from a lunar observatory. *Physics and astrophysics from a lunar base: Proceedings of the 1st NASA Workshop*. New York: American Institute of Physics. P. 278–282.
  114. Kondo Y., Oliverson R. J., Lowman P., Chen P. C. (2001). A Moon Based Telescope To Detect and Image Extrasolar Planets. *Bull. Amer. Astron. Soc.*, 33, 1319.
  115. Kondratiev K. Ya., Gaevsky V. L., Konashenok V. N., Reshetnikov A. I. (1965). Lunar Meteorological Observatory for Observations of the Earth. *Proc. of the 1st Lunar International Laboratory (LIL) Symposium on Research in Geosciences and Astronomy*. 16th International Astronautical Congress Athens. Ed. by F. J. Malina. Wien: Springer. P. 35.
  116. Konopliv A. S., Binder A. B., Hood L. L., Kucinskas A. B., Sjogren W. L., Williams J. G. (1998). Improved Gravity Field of the Moon from Lunar Prospector. *Science*, 281, 1476–1480.
  117. Konyukhov S. N., Degtyarev A. V., Kushnar'ov A. P., Berdnik A. I. (2009). Ukrainian space engineering for international lunar programs. *Acta Astronautica*, 64(1), 3–8.
  118. Kozieł K. (1967). The Constants of the Moon's Physical Libration Derived on the Basis of Four Series of Helio-metric Observations from the Years 1877 to 1915. *Icarus*, 7(1), 1–28.
  119. Kozieł K. (1982). *Libration of the Moon. Physics and astronomy of the Moon*. New York, London: Academ. Press.
  120. Kozieł K. (1989). Constants of the moon's free libration on the basis of heliometric observations from the years 1841–1945. *Earth, Moon, and Planets*, 45, 153–159.
  121. Krat V. A. (1966). On Solar Observations at an International Observatory on the Moon. *Proceedings of the 1st Lunar International Laboratory (LIL) Symposium on Research in Geosciences and Astronomy*. 16th International Astronautical Congress Athens. Ed. by F. J. Malina. Wien: Springer. P. 98.
  122. Landecker P. B., Caylor M. A., Choi D. U., Dreon R. J., Edelson C. R., Gurley J. G., Hagen F. A., Su G. W., Tillman M. L., Wassgren C. R. (1991). Telerobotically deployed lunar farside VLF observatory. *Robotic telescopes in the 1990s: Proceedings of the Symposium, 103rd Annual Meeting of the Astronomical Society of the Pacific, Univ. of Wyoming, Laramie*. P. 335–346.
  123. Lawrence D. J., Feldman W. C., Elphic R. C., Little R. C., Prettyman T. H., Maurice S., Lucey P. G., Binder A. B. (2002). Iron abundances on the lunar surface as measured by the Lunar Prospector gamma-ray and neutron spectrometers. *J. Geophys. Res. (Planets)*, 107E(12), 13.
  124. Levchenko T. A., Nevodovskiy P. V., Vidmachenko A. P., Morozhenko O. V., Saryboha H. V., Zbrutskiy O. V., Ivakhiv O. V. (2016). The test of the layout of polarimeter “UPP” on the telescope AZT-2. *18 International scientific conference Astronomical School of Young Scientists. The program and abstracts*. Kyiv, Ukraine: National Aviation University. P. 66–67.
  125. Liao W.-P., Qian Sh.-B., Zejda M., Zhu Li-Y., Li Lin-J. (2016). Lunar-based Ultraviolet Telescope study of the well-known Algol-type binary TW Dra. *Res. Astron. and Astrophys.*, 16(6), article id. 94.
  126. Liu J., Li Ch., Wang W., Zeng X., Mu L., Yang Y. (2019). Extraction of lunar domes from Chang'E-2 data with new method. *Icarus*, 321, 29–33.
  127. Lowman P. D. (1990). Candidate sites for lunar observatories, with a recommended example — The NE Orientale Basin. *Astrophysics from the moon: Proc. of the Workshop*. P. 315–327.
  128. Lowman P. D. (1995). Candidate site for a robotic lunar observatory: The central peak of Riccioli crater. *J. Brit. Int. Soc.*, 48(2), 83–86.
  129. Lowman P. D. (1996). Lunar Limb Observatory: an Incremental Plan for the Utilization, Exploration, and Settlement of the Moon. *Technical Report, National Aeronautics and Space Administration*. Goddard Space Flight Center Greenbelt, MD United States.
  130. Lunar and Planetary Meetings (1959). *Sky and Telescope*, 18, 299.
  131. Lunar and Planetary Meeting at Montreal (1962). *Sky and Telescope*, 24, 194.
  132. Manka R. H. (1988). Electric Potential and Fields at the Lunar Surface: Implications for a Lunar Plasma Observatory. *Abstracts of papers presented to the Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*. Houston, TX. P. 167.
  133. McCarter J. W. (1993). Site selection and its influence on the design of a lunar-based telescope. *Conference Paper*. AIAA Paper 93-4774.
  134. McGraw J. T. (1992). The Lunar Transit Telescope (LTT) — an early lunar-based science and engineering mission. *Engineering, construction, and operations in space — III: Space '92: Proceedings of the 3rd International Conference*, Denver, CO. A93-41976 17-12. P. 1865–1879.
  135. Meng X.-M., Han X.-H., Wei J.-Y., Wang J., Cao Li, Qiu Yu-Lei, Wu Ch., Deng J.-S., Cai H.-Bo, Xin Li-P. (2016). *NUV Star Catalog from the Lunar-based Ultraviolet Telescope Survey: First Release Research in Astronomy and Astrophysics*. 16, N 11. Article id. 168.
  136. Migus A. (1980). Analytical lunar librational tables. *Moon and Planets*, 23(4), 391–427.
  137. Moons M. (1982). Analytical theory of libration of the Moon. *Moon and Planets*, 27(3), 257–284.

138. Morozhenko A. V., Vid'machenko A. P. (2003). Apparatus for monitoring of global changes in the Earth with a lunar base or satellite in Lagrange point. *Kosm. nauka tehnol.*, 9(2), 28—29.
139. Morozhenko A. V., Vidmachenko A. P. (2004). Moon Base and Problems of Global Changes on the Earth. *J. Automation and Inform. Sci.*, 36(11), 27—31.
140. Morozhenko A. V., Vid'machenko A. P. (2005). Astronomical Polarimeters and Features of Polarimetric Observations. *Photopolarimetry in Remote Sensing, NATO Sci. Ser. II: Mathematics, Physics and Chemistry*, 161, 479—486.
141. Morozhenko A. V., Vid'machenko A. P. (2005). Polarimetry and Physics of Solar System Bodies. *Photopolarimetry in Remote Sensing, NATO Sci. Ser. II: Mathematics, Physics and Chemistry*, 161, 369—384.
142. Morozhenko A. V., Vidmachenko A. P., Nevodovskii P. V. (2013). Aerosol in the upper layer of earth's atmosphere. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 29(5), 243—246.
143. Morozhenko A. V., Vidmachenko A. P., Nevodovskiy P. V., Kostogryz N. M. (2014). On the efficiency of polarization measurements while studying aerosols in the terrestrial atmosphere. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 30(1), 11—21.
144. Morozhenko O. V., Vid'Machenko A. P. (2002). Tasks or the spectropolarimetric experiment aboard the International Space Station. *Kosm. nauka tehnol.*, 8(5/6), 39—44.
145. Morozhenko O. V., Vid'Machenko A. P. (2017). Features of the method for mapping of physical characteristics of lunar surface according to the data of ultraviolet polarimetry. *17th Ukrainian Conference on Space Research: abstracts*. Odessa.
146. Morozhenko O. V., Vidmachenko A. P. (2017). Possible space experiment “Mineralogical mapping of the Moon's surface”. *17th Ukrainian Conference on Space Research: abstracts*. Odessa. P. 44.
147. Morozhenko O. V., Vidmachenko A. P., Nevodovskiy P. V., Choliy V. Ya. (2017). Monitoring of Global Climate Change in the Earth from the Moon. *17th Ukrainian Conference on Space Research: Abstracts*. Odessa. P. 47.
148. Namiki N., Iwata T., Matsumoto K., Hanada H., et al. (2009). Farside Gravity Field of the Moon from Four-Way Doppler Measurements of SELENE (Kaguya). *Science*, 323(5916), 900—905.
149. NASA Conference Publication 2489 — Proc. workshop American Astronomical Society (1988). Washington, D.C., and the NASA Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas, and held in Houston, Texas January 10, 1986 “Future astronomical Observatories on the Moon”. Ed. J. O. Burns.
150. Nefedev Y. A., Valeev S. G., Mikeev R. R., Andreeva A. O., Varaksina N. Y. (2012). Analysis of data of “Clementine” and “Kaguya” missions and “ULCN” and “KSC-1162” catalogues. *Adv. Space Res.*, 50(11), 1564—1569.
151. Nein M. E., Hilchey J. D. (1995). The Lunar Ultraviolet Telescope Experiment (LUTE): Enabling technology for an early lunar surface payload. *J. Brit. Interplanetary Soc.* 48(2), 93—97.
152. Nevodovskiy P. V., Morozhenko O. V., Vidmachenko A. P., Ivakhiv O., Geraimchuk M., Zbrutskiy O. (2015). Tiny Ultraviolet Polarimeter for Earth Stratosphere from Space Investigation. *IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS-2015)*. Warsaw, Poland. Proc. 1. P. 28—32.
153. Nevodovskyy P. V., Vidmachenko A. P., Morozhenko O. V., Herayimchuk M. D., Ivakhiv O. V. (2017). Remote polarimetric study of the stratospheric ozone layer with on-board of microsatellite. *Thirteenth International Scientific Conference “AVIA-2017”*. Kyiv, Ukraine: National Aviation University. P. 26.5—26.9.
154. Nevodovskiy P. V., Vidmachenko A. P., Morozhenko O. V., Zbrutskiy O. V., Ivahiv O. V. (2017). Testing of the working model of electrophotopolarimeter on telescope. *Problems of modern power engineering and automation in the system nature management (theory, practice, history, education)*. Proc. 6 Int. Scientific-Technical Conf., 78—80.
155. Nevodovskiy P. V., Vidmachenko A. P., Morozhenko O. V., Zbrutskiy O. V., Ivahiv O. V. (2017). Application of remote polarization studies of the Earth in the national economy. *Problems of modern power engineering and automation in the system nature management (theory, practice, history, education)*. Proc. 6 Int. Scientific-Technical Conf., 73—75.
156. Newton I. (1686). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* — Londini [i.e. London]: Jussu Societatis Regiae ac Typis Josephi Streater, Anno.
157. Noda H., Heki K., Hanada H. (2008). In situ Lunar Orientation Measurement (ILOM): Simulation of observation. *Adv. Space Res.*, 42(2), 358—362.
158. Nozette S., Lichtenberg C. L., Spudis P. D., Bonner R., Ort W., Malaret E., Robinson M., Shoemaker E. M. (1996). The Clementine Bistatic Radar Experiment. *Science*, 274, 1495—1498.
159. Pallé E., Goode P. R. (2009). The Lunar Terrestrial Observatory: Observing the Earth using photometers on the Moon's surface. *Adv. Space Res.*, 43(7), 1083—1089.
160. Petrova N., Gusev A., Hanada H., Heki K., Kawano N. (2008). Interpretation of the Lunar physical libration for future observations from the Lunar surface. *European Planetary Science Congress 2008*. Proceedings of the conference. Minster, Germany. P. 231.
161. Petrova N., Hanada H. (2012). Computer simulating of stellar tracks for observations with the lunar polar telescope. *Planet. Space Sci.*, 68(1), 86—93.

162. Petrova N. K., Hanada H. (2013). Computer simulation of observations of stars from the moon using the polar zenith telescope of the Japanese project ILOM. *Solar System Res.*, 47(6), 463—476.
163. Popov E. G. (2000). New long-baseline planetary/space/lunar-based interferometers. *Proc. SPIE*, 3932, 206—208.
164. Porro I. (1997). *A stellar interferometer on the Moon*. PhD Thesis. Padova.
165. Qi Zh., Yu Yong, Cao Li, Cai H., Qiu Yu., Wei J., Tang Zh., Wang J., Deng J., Liao Sh., Guo S. (2015). Astrometric Support for the Lunar-based Ultraviolet Telescope. *Publs Astron. Soc. Pacif.*, 127(957), 1152 .
166. Rayman M. D., Sanders R. S. (1996). Optical Interferometry from the lunar surface. *Adv. Space Res.*, 18(11), 45—48.
167. Robert M. L., Baker Jr. (1962-1963). Utilization of the Laplacian method from a lunar observatory. *Icarus*, 1(1—6), 343—345.
168. Romanyuk Ya. O., Kleschonok V. V., Reshetnyk V. M., Lukyanyk I. V., Svyatogorov O. O., Guziy S. S. (2012). The Kyiv internet telescope project. *Astron. Soc. India Conf. Ser.*, 7, 297.
169. Romanyuk Ya. O., Kravchuk S. G., Kleschonok V. V. (2013). The Kyiv Internet telescope. *Bull. Ukr. Earth Orientation Parameters Lab.*, 8, 68—70.
170. Romanyuk Ya. O., Vidmachenko A. P. (2015). KIT — automated small telescope. *Astron. School's Report*, 11(2), 157—162.
171. Ruan Zh., Liu G. Ding Y. (2016). Conceptual Research of Lunar-based Earth Observation for Polar Glacier Motion. *41st COSPAR Scientific Assembly, abstracts from the meeting*. Turkey: Istanbul Congress Center (ICC). Abstract A0.2-27-16.
172. Samoylov A. V., Samoylov V. S., Vid'machenko A. P., Perekhod A. V. (2003). Using of Ahromatic and Super-Achromatic Zero-Order Waveplates in Polarimetric Astronomical Observations. *NATO Advanced Study Institute on Photopolarimetry in Remote Sensing and Workshop on Remote Sensing Techniques and Instrumentation: International Cooperation*. Ed. by G. Videen, Ya. Yatskiv, A. Vid'machenko, et. all. Yalta - Kyiv, Ukraine. P. 82.
173. Samoylov A. V., Samoylov V. S., Vid'machenko A. P., Perekhod A. V. (2004). Achromatic and super-achromatic zero-order waveplates. *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.*, 88(1—3), 319—325.
174. Sarkar R., Chakrabarti S. K. (2010). Feasibility of spectro-photometry in X-rays (SPHINX) from the moon. *Exp. Astron.*, 28(1), 61—77.
175. Schrutka-Rechtenstamm G. (1965). Zur physischen libration des Mondes. *Mitt. Univ. Sternw. Wien.*, 8,(10), 151—213.
176. Shapiro M. M., Silberberg R. (1985). Celestial sources of high-energy neutrinos as viewed from a lunar observatory. *Lunar bases and space activities of the 21st century*. Houston, TX, Lunar and Planetary Institute. P. 329—333.
177. Shapiro M. M., Silberberg R. (1985). High-energy neutrinos from a lunar observatory. *Goddard Space Flight Center 19th Intern. Cosmic Ray Conf.* 8. P. 160-163.
178. Shkuratov Y. G., Konovalenko A. A., Stanislavsky A. A., Lytvynenko L. N., Vavriv D. M., Yatskiv Y. S., Vavilova I. B., Vid'machenko A. P., Kordum E. L., Zarka Ph., Rucker H. O., Zakharenko V. V., Kalinichenko N. N., Ulyanov O. M., Sidorchuk M. A., Stepkin S. V. (2017). Feasible Objectives of Ukrainian Participation in Prospective Lunar Missions. *International Academy of Astronautics. 10th IAA Symposium on the Future of Space Exploration: Towards Space Village and Beyond*. Program. Torino, Italy. P. 2.
179. Shkuratov Yu. G., Kreslavsky M. A., Litvinenko L. N., Negoda A. A. (2002). A Prospective Ukrainian Lunar Orbiter Mission: Objectives and Scientific Payload. *33rd Annual Lunar and Planetary Science Conference*. Houston, Texas. Abstract no. 1234.
180. Shkuratov Yu. G., Lytvynenko L. M., Shulga V. M., Yatskiv Ya. S., Vidmachenko A. P., Kyslyuk V. S. (2003). Objectives of a prospective Ukrainian orbiter mission to the Moon. *Adv. Space Res.*, 31(11), 2341—2345.
181. Slyuta E. N. (2014). Physical and mechanical properties of the lunar soil (a review). *Solar System Res.*, 48(5), 330—353.
182. Stehling K. R. (1988). Lunar Observatory Ocean/Atmosphere Monitoring and Analysis for Global Change. *Abstracts of papers presented to the Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*. Houston, TX. P. 232.
183. Stehling K. R., Levitt I. M. (1966). Lunar Astronomical Observatory. *Proceedings of the 1st Lunar International Laboratory (LIL) Symposium on Research in Geosciences and Astronomy, 16th International Astronautical Congress Athens*. Ed. by F. J. Malina. Wien: Springer. P. 48.
184. Stockman H. S. (1988). Space and lunar-based optical telescopes. *NASA Conf. Publ.*, NASA CP-2489. P. 63—71.
185. Stooke P. J. (2019). Identification of the Chang'E 1 spacecraft impact site on the Moon. *Icarus*, 319, 334—336.
186. Sūn H., Dài Sh., Yáng J., Wú J., Jiāng J. (2005). Scientific objectives and payloads of Chang'E-1 lunar satellite. *J. Earth System Sci.*, 114(6), 789—794.
187. SURVEYOR Program Results. NASA. 1969. 436 p.
188. Swanson P. N. (1992). The proposed NASA lunar-based astronomical observatories. *Engineering, construction, and operations in space III: Space '92; Proceedings of the 3rd International Conference*. 2. P. 1798—1808.
189. Syniavskiy I., Ivanov Yu., Vidmachenko A. P., Sergeev A. (2015). Using a polarizing film in the manufacture of panoramic Stokes polarimeters at the Main Astronomical Observatory of NAS of Ukraine. *Proceedings of the*



- International conference*. Terskol — M.: Yanus-K. P. 309—315.
190. Takahashi Y. D. (2002). A Lunar Far Side Radio Array As The First Astronomical Observatory On The Moon: Precursor Studies. *EGS XXVII General Assembly*. Nice. Abstract #5174.
  191. Takahashi Y. D. (2003). A concept for a simple radio observatory at the lunar south pole. *Adv. Space Res.*, 31(11), 2473—2478.
  192. Takahashi Y. D. (2004). Radio Interferometer Observatory Near the Lunar South Pole. *Proc. of the International Lunar Conference 2003. International Lunar Exploration Working Group 5: ILC2003 — ILEWG 5*. Ed. by S. M. Durst. 108. P. 77.
  193. Taylor G. J., Burns J. O., Fernini I., Johnson S. (1988). Site Selection Criteria for Astronomical Observatories on the Moon. *Abstracts of papers presented to the Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*. Houston, TX. P. 238.
  194. Tengström E. (1978). Meeting of the Special Study Group. Vol. 49 of IAG on “Use of Geodetic Data for Studies of the Earth-moon System”. Uppsala, Sweden, 7-9 August 1978. *Bull. G od siku*, 52(4), 335—336.
  195. Thompson R. (1990). Infrared Detectors for a 10 m Space or Lunar Telescope. *The Next Generation Space Telescope, Proceedings of a Workshop*. Eds P.-Y. Bely, C. J. Burrows, G. D. Illingworth. Baltimore, MD: Space Telescope Science Institute and Washington. P. 310.
  196. Tsuboi M., Kaifu N., Karoji H., Takeuchi S., Iwata T., Itoh N., Miyahara N. (1997). The Future Japanese Cosmic Background Anisotropy Observatory at the Moon. *Astronomy from the Moon, 23rd meeting of the IAU, Joint Discussion*. Meeting abstract. Kyoto, Japan.
  197. van Susante P. (2002). Design and Construction of a Lunar South Pole Infrared Telescope (LSPIRT). *34th COSPAR Scientific Assembly, The Second World Space Congress*. Houston, TX, USA. Meeting abstract.
  198. Vid'machenko A. P. (2000). Information-measuring and registering system of an astronomical polarimeter. *Baltic Astron.*, 9, 670—671.
  199. Vid'machenko A. P., Delec A. S., Nevodovskiy P. V., Andruk V. M. (2003). Digital panoramic polarimeter for remote investigation of an optical parameter of celestial bodies. *Bull. Nat. Techn. Univ. Ukr. «Kyiv Polytechnic Institute»*. Ser. *Instrument Making*, 26, 12—18.
  200. Vid'Machenko A. P., Ivanov Yu. S., Morozhenko A. V., Sosonkin M. G. (2002). UK spectrometer-polarimeter for planetary monitoring aboard the ISS. *Kosm. nauka tehnol.*, 8(5/6), 45—50.
  201. Vid'Machenko A. P., Morozhenko A. V. (2004). Mapping of physical characteristics of the Moon's superficial layer and ultra-violet polarimetry from a lunar orbital station. *Kosm. nauka tehnol.*, 10(5/6), 21—27.
  202. Vid'machenko A. P., Morozhenko A. V. (2005). Mapping of the physical characteristics and mineral composition of a superficial layer of the Moon or Mars and ultra-violet polarimetry from the orbital station. *36th Lunar and Planetary Science Conference*. League City, Texas. Abstract #1015.
  203. Vid'Machenko A. P., Morozhenko A. V. (2006). The application of the brewster angle data for the lunar surface mapping by the real part of the refractive index. *Solar System Res.*, 40(6), 462—467.
  204. Vid'machenko A. P., Nevododvsky P. V. (2000). A cooled photomultiplier with an InGaAs photocathode developed for the spectropolarimetry observations. *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel. Suppl.*, No. 3, 283—285.
  205. Vid'Machenko A. P., Nevodovskiy P. V. (2000). Experimental observations with cooled photometric head on the basis of a photomultiplier with the InGaAs photocathode. *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel.*, 16(1), 72—79.
  206. Vidmachenko A., Nevodovskiy P., Bardash O. (2003). Astronomical spectropolarimeter for remote investigation of an optical and physical properties of solar system bodies. *Bull. Nat. Techn. Univ. Ukr. «Kyiv Polytechnic Institute»*. Ser. *Instrument Making*, 25, 45—52.
  207. Vidmachenko A. P. (2001). Observations of planets in UV. “Ultraviolet Universe, Proceedings of the Conference “Scientific prospects of the space ultraviolet observatory SPECTRUM-UV”. Ed. by B. M. Shustov, D. S. Wiebe. Moscow: GEOS. P. 209—220.
  208. Vidmachenko A. P., Geraimchuk M. D., Dubinec V. I., Nevodovskiy E. P., Nevodovskiy P. V., Petrenko S. F. (2004). Ways of the modulation of the polarized light in astronomical device. *Bull. Nat. Techn. Univ. Ukr. «Kyiv Polytechnic Institute»*. Ser. *Instrument Making*, 27, 61—66.
  209. Vidmachenko A. P., Ivanov Yu. S., Morozhenko A. V., Nevodovsky E. P., Syniavskiy I. I., Sosonkin M. G. (2007). Spectropolarimeter of ground-based accompanying for the space experiment “Planetary Monitoring”. *Kosm. nauka Tehnol.*, 13(1), 63—70.
  210. Vidmachenko A. P., Ivanov Yu. S., Syniavskiy I. I. (2015). The development of the imaging polarimeter's polarizer on the basis of the polarizing film. *Kosm. nauka tehnol.*, 21(4), 19—23.
  211. Vidmachenko A. P., Morozhenko A. V., Delets A. S., Nevodovskii P. V., Sosonkin M. G., Ivanov Yu. S., Andruk V. M. Digital panoramic polarimeter for ground-based attending the space experiment “Planetary monitoring”. *Kosm. nauka Tehnol.*, 2003. 9(2), 5—9.
  212. Vidmachenko A. P., Nevodovskiy E. P., Ivanov J. S. (2007). The unified optics-mechanical block for surface astronomical devices. *Bull. Nat. Techn. Univ. Ukr. «Kyiv Polytechnic Institute»*. Ser. *Instrument Making*, 33, 41—48.

213. Vidmachenko A. P., Nevodovskiy E. P., Nevodovskiy P. V. (2005). Light modulators for astronomical polarimeters. *Astron. School's Report*, 5(1-2), 236–241.
214. Vilas F. (1991). Astronomical Observatories on the Moon. *Abstrs Lunar and Planetary Sci. Conf.*, 22, 1445.
215. Walker A. B. C., Timothy J., Hoover R. (1990). Astronomical EUV/X-ray observatories on the moon. *Astrophysics from the moon: Proceedings of the Workshop*. New York: American Institute of Physics. P. 553–566.
216. Wang J., Cao Li, Meng X.-M., Cai H.-Bo, Deng J.-S., Han Xu-Hui, Qiu Yu-Lei, Wang F., Wang Sh., Wen Wei-Bin, Wu Ch., Wei J.-Y., Hu J.-Yao. (2015). Photometric Calibration of the Lunar-based Ultraviolet Telescope for Its First Six Months of Operation on the Lunar Surface. *Res. Astron. and Astrophys.*, 15(7), article id. 1068.
217. Warren P. H. (2003). The Moon. Treatise on Geochemistry. 1. Ed. A. M. Davis. Executive Editors: H. D. Holland, K. K. Turekian. Elsevier. P. 559–599.
218. Williams J. G., Boggs D., Yoder Ch., Ratcliff J., Dickey J. (2001). Lunar rotational dissipation in solid body and molten core. *J. Geophys. Res.*, 106E(11), 27,933–27,968.
219. Wilson K. (1995). The first lunar observatory. *Astronomy Now.*, 9(7), 48–54.
220. Wilson Th. L. (1990). Particle astronomy and particle physics from the moon — The particle observatory. *Astrophysics from the moon: Proceedings of the Workshop*. New York: American Institute of Physics. P. 608–621.
221. Woan G. (1996). Design Considerations for a Moon-Based Radio Telescope Operating at Frequencies below 16 MHz. *Large Antennas in Radio Astronomy*. Proceedings of the workshop. Ed. C. G. M. Van't Klooster and A. Van Ardenne. Noordwijk, Netherlands. ESTEC. P. 101.
222. Woodgate B. E. (1990). Visible and Ultraviolet Detectors for High Earth Orbit and Lunar Observatories. *The Next Generation Space Telescope*. P. 296.
223. Xiao L, Wang Q. (2017). China's Lunar Exploration Programme. *2017 Annual Meeting of the Lunar Exploration Analysis Group*. LPI Contribution No. 2041. id.5092.
224. Yano T., Gouda N., Kobayashi Y., Tsujimoto T., Nakajima T., Hanada H., Kanya Y., Yamada Y., Araki H., Tazawa S., Asari K., Tsuruta S., Kawano N. (2004). CCD Centroiding Experiment for the Japan Astrometry Satellite Mission (JASMINE) and In Situ Lunar Orientation Measurement (ILOM). *Publs Astron Soc. Pacif.*, 116(821), 667–673.
225. Ye H., Liu G., Ren Y., Guo H., Ding Y. (2016). Analysis of visibility simulation of three polar regions from lunar-based earth observation. *41st COSPAR Scientific Assembly: abstracts*. Turkey: Istanbul Congress Center (ICC). Abstract A0.2-16-16.
226. Yichun X., Zongyao S., Mei Yu. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *J. Plant Ecology*, 1(1), 9–23.
227. Yingzhuo J., Yongliao Z., Jinsong P. Changbin X., JunY., Yuanming N. (2018). The scientific objectives and payloads of Chang'E-4 mission. *Planetary and Space Sci.*, 162(1), 207–215.
228. Zhang H., Yang Y., Yuan Ye., Jin W., Lucey P. G., Zhu M.-H., Kaydash V. G., Shkuratov Y. G., Di K., Wan W., Xu Bin, Xiao L., Wang Z., Xue Bin (2015). In situ optical measurements of Chang'E-3 landing site in Mare Imbrium. 1. Mineral abundances inferred from spectral reflectance. *Geophys. Res. Lett.*, 42(17), 6945–6950.
229. Zhang Zh., Zhang L., Tang Yi, Huang G. (2010). Lunar-based solar telescope of multi-wavelength. *Proc. SPIE 7849*. id. 78492M.
230. Zheng Y.-Ch., Chan K. L., Tsang K. T., Zhu Y.-Ch., Hu G. P., Blewett D. T., Neish C. (2019). Analysis of Chang'E-2 brightness temperature data and production of high spatial resolution microwave maps of the Moon. *Icarus*, 319, 627–644.
231. Zuber M. (2015). The Interior of the Moon from the Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) Mission. *EGU General Assembly 2015*. Vienna, Austria. id.7269.

Received 14.12.2017

А. П. Видьмаченко<sup>1,2</sup>, Л. В. Казанцева<sup>3</sup>,  
А. В. Морозенко<sup>1</sup>, В. Я. Чолий<sup>1,4</sup>, П. В. Неводовский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Главная астрономическая обсерватория  
Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup> Национальный университет биоресурсов  
и природопользования Украины, Киев, Украина

<sup>3</sup> Астрономическая обсерватория Киевского  
национального университета имени Тараса Шевченко,  
Киев, Украина

<sup>4</sup> Киевский национальный университет  
имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

#### АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ПОВЕРХНОСТИ ИЛИ С ОРБИТЫ ЛУНЫ И ИХ НАЗЕМНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ

Современное состояние развития космической отрасли в передовых странах мира подошло вплотную к созданию на Луне постоянно действующей базы. Такой дорогостоящий проект должен предусматривать максимальную экономическую отдачу и использование полезной научной нагрузки для широкого круга исследований в различных областях науки. К научным лунным программам должны быть включены вопросы, которые невозможно решить наземными методами. В работе приводится историческая справка по исследованиям Луны, краткая хронология таких исследований и перечень задач, которые можно решать по лунной базе. Рассмотрены особенности минералогического картирования поверхностного слоя, возможность использования лунной базы для астрономических наблюдений, проекты расположения обсерваторий на поверхности Луны, объекты для наблюдений с лунной поверхности и предложены методы таких исследований. Некоторые из подобных исследований можно будет выполнять, используя специальную аппаратуру, установленную на предложенной Государственным конструкторским бюро «Южное» для развертывания на Луне промышленно-исследовательской базе. Одной из задач является исследование либрации Луны по наблюдениям суточных и годовых треков звезд путем их сравнения с теоретическими моделями внутреннего строения нашего спутника. С лунной базы также предлагается выполнять фотометрические, спектральные и спектрополяриметрические исследования Земли.

**Ключевые слова:** Луна, селенология, астрономические наблюдения, история астрономии и космонавтики, лунная база, физическая либрация Луны, наблюдения с лунной поверхности.

А. П. Видьмаченко<sup>1,2</sup>, Л. В. Казанцева<sup>3</sup>,  
О. В. Морозенко<sup>1</sup>, В. Я. Чолий<sup>1,4</sup>, П. В. Неводовский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Main Astronomical Observatory of the National Academy  
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences  
of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Astronomical Observatory, Taras Shevchenko National  
University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

<sup>4</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

#### ASTRONOMICAL OBSERVATIONS AND MONITORING SURVEYS OF THE EARTH FROM THE SURFACE OR FROM THE MOON'S ORBIT AND THEIR GROUND SUPPORT

The current progress of the space industry in the advanced countries of the world came close to the creation of a permanent base on the Moon. Such an expensive project should provide for maximum economic returns and the use of useful scientific workload for a wide range of research in various fields of science. The scientific lunar programs should include issues that cannot be solved by ground methods. In this article, we present a historical background of the study of the Moon, a short chronology of such studies and a list of tasks that can be solved from the lunar base. Among them, the features of the mineralogical mapping of the surface layer, the possibility of using the lunar base for astronomical observations, projects of the location of observatories on the lunar surface, objects for observations from the lunar surface, and suggested methods for such studies were considered. Some of these studies can be performed using the special equipment installed at the industrial research base proposed by State Design Bureau «Yuzhnoye» for deployment on the Moon. One of the tasks is to study the libration of the Moon from observations of diurnal and annual tracks of stars by comparing them with theoretical models of the internal structure of the satellite. It is also proposed to use the lunar base for photometric, spectral and spectropolarimetric studies of the Earth.

**Keywords:** Moon, selenology, astronomical observations, history of astronomy and astronautics, monthly basis, physical libration of the Moon, observation from the lunar surface.

<https://doi.org/10.15407/knit2019.05.76>

УДК 929:93/94

**О. Г. Стрелко, О. Я. Пилипчук, Ю. А. Бердниченко**

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна

## ДО П'ЯТДЕСЯТИРІЧЧЯ ПЕРШОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗІ ЗВАРЮВАННЯ У КОСМОСІ

*Стаття присвячена відображенню історичних етапів зародження ідеї, підготовки та проведення перших експериментів зі зварювання матеріалів у космосі, виконаних 16 жовтня 1969 року радянськими льотчиками-космонавтами Георгієм Степановичем Шоніним і Валерієм Миколайовичем Кубасовим на космічному кораблі «Союз-6». Оцінено внесок як окремих спеціалістів, так і цілих організацій у вирішення завдань підготовки експерименту, розробки та виготовлення необхідного обладнання. Показано провідну роль у вирішенні вказаних завдань групи українських вчених Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона на чолі з академіком Борисом Євгеновичем Патonom. Досліджено чотириетапну періодизацію розробки, виготовлення та тестування обладнання та підготовки експерименту зі зварювання в космосі. Показано важливість результатів експериментів в умовах, що імітують космічні, для підготовки проведення експерименту безпосередньо в умовах космосу. Проведені дослідження дозволили виявити найбільш характерні особливості зварювання в умовах невагомості і вакууму. Показано, що саме шляхом детального аналізу результатів проведених наземних експериментів, а також експериментів на літаючій лабораторії ТУ-104, були відібрані найбільш перспективні методи для зварювання в умовах космосу, а саме: електронно-промене́ве зварювання; зварювання плавким електродом і зварювання стисненою дугою. Розглянуто особливості технічних рішень, які були втілені при розробці та виготовленні комплексного, повністю автономного пристрою для зварювання «Вулкан», що дозволяв виконувати на орбіті в автоматичному режимі електронно-промене́ве зварювання, зварювання стисненою дугою низького тиску і дугове зварювання плавким електродом. Показано, що визначальний внесок у розробку зварювальної установки «Вулкан» та підготовку першого у світі експерименту зі зварювання у космосі зробили українські вчені Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона та Інституту електродинаміки.*

**Ключові слова:** історія космонавтики, зварювання в космосі, зварювальна установка «Вулкан», внесок українських вчених.

### ВСТУП

16 жовтня 1969 р. радянські льотчики-космонавти Георгій Степанович Шонін і Валерій Миколайович Кубасов вперше в світі провели в умовах космосу зварювальний експеримент, який ліг в основу нового науково-технічного напрямку — космічної технології [1, 10, 14]. Вчені та фахівці різних наукових і виробничих організацій СРСР, що підготува-

ли цей складний і ризикований експеримент, задуманий ще на початку 1960-х років минулого століття академіками С. П. Корольовим і Б. Є. Патonom [9, 10, 15], стали фундаторами в науково-дослідному технологічному освоєнні космосу. За ці 50 років у космосі було проведено кілька сотень подібних експериментів фундаментального і практичного спрямування [1, 8, 27, 28]. Стрімкий розвиток космічної технології в СРСР позначився і на тематиці, і на обсязі наукових досліджень [1, 8].

© О. Г. СТРЕЛКО, О. Я. ПИЛИПЧУК, Ю. А. БЕРДНИЧЕНКО, 2019

Метою даної роботи є відображення історичних етапів зародження ідеї, підготовки та проведення перших експериментів з технологій оброблення матеріалів у космічному просторі, а також оцінка внеску українських вчених при вирішенні вказаних завдань.

#### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Використання історичного методу [20—22, 25, 26] для систематизації та критичної оцінки літературних джерел дозволили відокремити найбільш суттєві факти у сучасному стані вивчення тематики досліджень та проаналізувати результати інших дослідників, що дозволило визначити напрямки власних пошуків.

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

На початку 1960-х років СРСР і США, в суперництві один з одним, далеко випередили інші країни в розвитку практичної космонавтики. Вже в цей час було розпочато розробку перших проектів довгодіючих космічних орбітальних станцій. Звісно, саме тоді виникла думка, що для їхнього створення, обслуговування і ремонту буде необхідне зварювання в космосі. На жаль, специфіка тих років полягала в тому, що суперництво двох країн не тільки призвело до бурхливого розвитку космонавтики, а й змушувало негайно засекречувати всі нові дослідження, спрямовані на освоєння космічного простору. Тому наразі мало що відомо про практичну реалізацію в ті роки науково-дослідних робіт зі зварювання в космосі у США. Перші публікації про зварювання в космосі носили радше популяризаторський, ніж науковий характер [4—7]. Проте уже в цих роботах найбільш перспективним для космічних умов називалося електронно-променеве зварювання. Наразі, безумовно, становить інтерес більш докладна інформація про розвиток у цей період робіт зі зварювання в космосі в СРСР і внесок українських учених.

Новий час ставив перед Інститутом електрозварювання і нові завдання. Ще в 1964 році Борис Євгенович Патон писав [24]: «Намагаючись уявити собі зварювання у міжзоряному просторі, мені б у першу чергу хотілося заглянути у майбутнє і на

самій нашій планеті. Адже зварювання зародилося в наших земних умовах, і тут йому належить досягти небачених висот. Втім, чому я кажу «зварювання»? Вже зараз воно все більше і більше зіставляється зі склеюванням, коли встановлюється зв'язок між «чужими» атомами в металах без їхнього попереднього розплавлення. У цих випадках термін «зварювання» звучатиме як анахронізм. Перспективний напрямок розвитку зварювання — відмова від розплавлення металу і використання ультразвукових коливань, сил тертя, енергії вибуху. Однак це не означає, що розплавлення металу буде зовсім виключено зі зварювання. Нарівні з дугою, електронними та світловими променями знайдуть застосування також іонний промінь, розпечена плазма. Наразі широко застосовується новий вид зварювання концентрованим потоком електронів у вакуумі — так зване електронно-променеве зварювання. Небачена раніше концентрація енергії дозволяє проплавляти «кинджалним» швом метал величезної товщини». Повертаючись до теми космічного зварювання, Борис Євгенович торкнувся її значення для створення орбітальних станцій, місячних міст і міжпланетних кораблів [24]: «Абсолютна рівномірність зварювання дозволить конструкторам з'єднувати нові матеріали для космічних кораблів. Міцні з'єднання металів з керамікою, металів з плівками (для самогерметизації) — ось над чим потрібно працювати вченим. І це не якісь віддалені проекти. В даний час в умовах лабораторій є теоретична можливість зварювати всі метали між собою в різних комбінаціях, а також зварювати метали з неметалами. Письменники-фантасти у своїх творах люблять описувати гострі моменти, коли навіть маленькі осколки метеоритів пробивають обшивку космічних кораблів. І якщо в один з відсіків все-таки потрапить метеорит, то в ліквідації аварії космонавтам допоможе механічний робот-зварювальник. Електронні оператори за соті долі секунди визначать рівень аварії, вирахують за швидкістю падіння тиску розмір ураження, миттєво дадуть завдання роботу-зварнику. Ще більша роль працям даного профілю буде відводитися під час будівництва всіх без винятку космічних об'єктів. Як бачите, зварювання покликає зіграти велику роль у завоюванні космо-

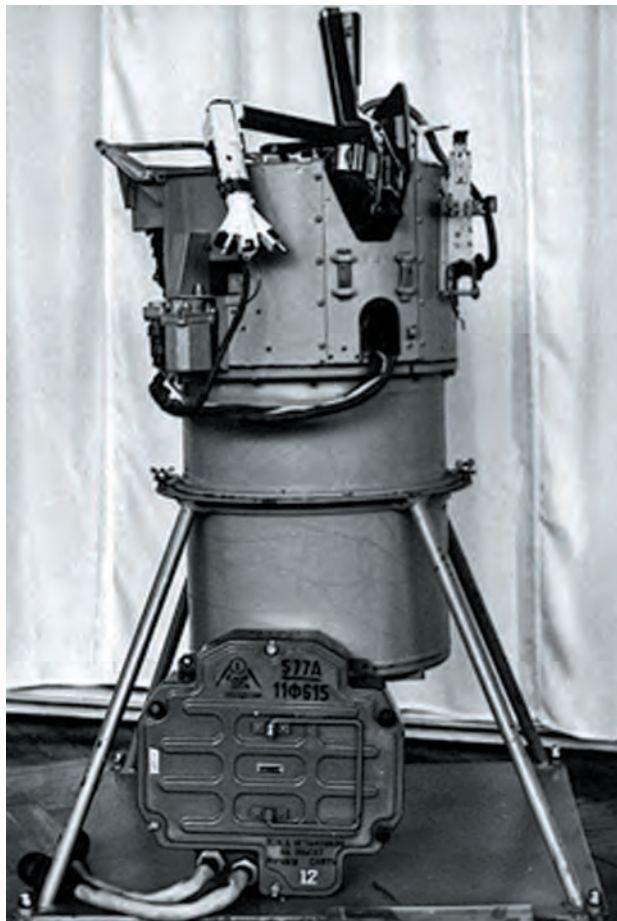


Рис. 1. Зварювальна установка «Вулкан» [22]

су. У майбутньому воно займе гідне місце серед інших творінь людського розуму».

У 1964 р. в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона Академії наук УРСР (далі — ІЕЗ) спільно з дослідно-конструкторським бюро ДКБ-1 (м. Корольов Московської обл.) була розроблена комплексна програма наукових досліджень, метою якої було створення апаратури і технологій для з'єднання матеріалів у космосі методом зварювання [1, 9, 23, 28]. Ці роботи вже більш як 50 років очолює академік Б. Є. Патон. Для виконання робіт в ІЕЗ було створено спеціальну групу. Слід зауважити, що починаючи з перших розробок і експериментів зі зварювання в космосі ІЕЗ співпрацював з багатьма організаціями та інститутами, основними з яких були Ракетно-космічна корпорація «Енергія» ім. С. П. Корольова, Центр підготов-

ки космонавтів ім. Ю. А. Гагаріна, підприємство «Зірка», Інститут космічних досліджень Академії наук СРСР, Інститут земного магнетизму, іоносфери і поширення радіохвиль, Центр керування польотами, а також Інститут електродинаміки Академії наук УРСР та Фізико-технічний інститут низьких температур Академії наук УРСР.

Дослідження почалися в тому ж 1964 році. Програмою передбачалося кілька етапів [16, 28]. На першому етапі розроблялася експериментальна зварювальна апаратура для низки найбільш перспективних в умовах космосу способів зварювання. Характерно, що ця апаратура одразу ж розраховувалася на енергоживлення від автономних акумуляторних батарей, що імітують бортову мережу космічних апаратів. Одночасно розроблялися дослідні вакуумні стенди, які найбільшою мірою повинні були імітувати умови космосу. На другому етапі проводилися дослідження декількох способів зварювання в наземних лабораторіях з використанням експериментального обладнання та дослідницьких вакуумних стендів. Це дозволило імітувати космічний вакуум і властиві космосу температури. На цьому ж етапі досліджувалася можливість використання в космосі різних захисних і плазмотворювальних газів, визначалися оптимальні режими зварювання, різання та інших технологічних процесів. На третьому етапі дослідження проводилися вже з використанням засобів, прийнятих при випробуванні космічних апаратів і тренуванні космонавтів. Це літаюча лабораторія, що дозволяє короткочасно багато разів відтворювати стан невагомості, і барокамери, які давали можливість імітувати роботу у відкритому космосі. В них розмішувалися зварювальна апаратура і випробувальні стенди. Нарешті, четвертий етап — це випробування зварювальної апаратури і технологій вже безпосередньо в космосі. Спочатку ніяких публікацій про ці роботи не було. Науково-технічні статті, присвячені проблемі зварювання в космосі, почали друкуватися в радянських журналах лише після проведення в 1969 р. перших космічних зварювальних експериментів [2, 14, 17, 18]. Натомість в американських і європейських журналах проблема зварю-



**Рис. 2.** Льотчики-космонавти Георгій Степанович Шонін (а) і Валерій Миколайович Кубасов (б), які виконували перший експеримент зі зварювання в космосі [28]

вання наприкінці 1960-х років обговорювалася ширше. Але інформації про розробку у США в цей період будь-якої комплексної програми досліджень не було [16, 28]. Розроблена в СРСР програма досліджень активно розвивалася і вдосконалювалася до 1991 р. За цей період виконано величезну кількість експериментів, проведено випробування великої кількості зразків космічної зварювальної апаратури і різних технологічних процесів. І весь цей час викладена вище етапність досліджень зберігалася незмінною, бо давала можливість найкраще підготуватися до робіт в космосі.

На початку 1960-х років було розроблено концепцію застосування найбільш перспективних в умовах космосу способів зварювання і розпочато розробку експериментальної апаратури, створено системи електроживлення, електрокерування і телеметрії [16]. Як уже згадувалося, для проведення перших космічних досліджень в Інституті

електрозварювання ім. Е. О. Патона був створений спеціальний творчий колектив, який приступив до створення експериментального обладнання та розробки основ технології зварювання, різання і нанесення покриттів в космосі. Процеси паяння в космосі почали досліджуватися на більш пізніх етапах [28]. Загальне керівництво здійснювалося Б. Є. Патonom, розробка експериментальної апаратури проводилася під керівництвом В. Є. Патона, а координація робіт виконавців, що працювали в різних підрозділах інституту, здійснювалася Д. А. Дудком [16, 23]. Основні конструкторські роботи з механічної частини обладнання виконували Г. П. Дубенко, В. В. Стесін, О. А. Загребельний, а проектування електричної частини виконувалось Г. Я. Хлиستиковим та О. П. Разинковим. Електронно-променеу гармату (ЕПГ) розробили О. К. Назаренко та В. І. Чалов, системи живлення для ЕПГ створив В. Д. Шелягін, а інверторні джерела живлення — Ю. І. Драбович та



Рис. 3. Льотчики-космонавти Георгій Степанович Шонін (праворуч) і Валерій Миколайович Кубасов (ліворуч) під час наземних експериментів зі зварювальною установкою «Вулкан» [28]

М. М. Юрченко (Інститут електродинаміки НАН України). Системи електроживлення, управління та вимірювання параметрів бортового та випробувального обладнання розробили Ю. М. Ланкін, Ю. О. Масалов та Є. М. Байштрук. Розробку обладнання для зварювання плавким електродом здійснювали А. Є. Марченко та Ю. Д. Морозов, для зварювання стиснутою дугою — С. П. Лакіза, а для контактного точкового зварювання — Г. В. Горбунов та О. І. Берзін. Швидкісну та звичайну кінозйомку процесів зварювання виконував В. Ф. Лапчинський.

Вперше дослідження в умовах, які імітують космос, були виконані в СРСР у 1965 р. на літаючій лабораторії ТУ-104, що дозволяє короткочасно (до 25...30 с) відтворювати стан невагомості [16, 18, 23, 28]. Для проведення досліджень був створений комплекс обладнання А-1084, що складався з ряду вакуумних камер, механічних

форвакуумних і сорбційно-гетерних високовакуумних насосів, реєструвальних приладів (звичайні і швидкісні кінокамери, осцилографи) і апаратури керування. Весь комплекс обладнання розміщувався в салоні літаючої лабораторії. На кришках кожної з камер могли встановлюватися автоматичні пристрої для зварювання різними методами — електронним променем, стислою дугою низького тиску і дугою з електродом, що плавиться. Оскільки в конструкціях космічних об'єктів, як правило, не використовується метал великої товщини, потужність цих зварювальних пристроїв не перевищувала 1.5 кВт. Проведені дослідження дозволили виявити найбільш характерні особливості зварювання в умовах невагомості і вакууму. У результаті проведених наземних експериментів, а також експериментів на літаючій лабораторії і детального аналізу їхніх результатів для зварювання в космосі були відібрані найбільш перспективні методи, а саме: електронно-променеве зварювання; зварювання плавким електродом і зварювання стисненою дугою.

На базі проведених досліджень фахівцями Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона і Інституту електродинаміки було розроблено і виготовлено спеціальну зварювальну установку «Вулкан» (рис. 1) [2], призначену для перевірки можливості використання названих вище способів зварювання в умовах космосу [3, 11, 13, 16—18, 23].

«Вулкан» був комплексним, повністю автономним пристроєм [2, 17, 18], що дозволяв виконувати в автоматичному режимі електронно-променеве зварювання, зварювання стисненою дугою низького тиску і дугове зварювання плавким та неплавким електродами [3, 11, 13, 17]. Установа складалася з двох основних відсіків. У верхньому, негерметичному, розташовувалися зварювальні пристрої і зразки; у нижньому, герметичному, — блоки енергоживлення, прилади керування, вимірювальні і перетворювальні пристрої, засоби автоматики. Джерело живлення і електронна гармата були поєднані у єдиний блок на основі епоксидних компаундів, які слугували одночасно ізоляційним і конструкційним матеріалом [17]. Відсутність високовольного кабеля, роз'ємів і виводів дозволили значно підвищити надійність і керованість апаратури, зни-



зити її вагу, практично виключити можливість ураження оператора високою напругою. Основні технічні характеристики зварювальної установки «Вулкан» були такими [3, 8, 11, 17, 16, 27, 28]: тривалість неперервної роботи була відносно невеликою (до 3 хв) і обмежувалася ємністю акумуляторної батареї; потужність пристроїв для різних способів зварювання становила від 0.6 кВт до 1.0 кВт; струм електронного пучка до 60 мА; прискорювальна напруга 10 кВ; вага електронно-променевої гармати дорівнювала 450 г; вага електронно-променевої гармати з блоком живлення — 6.5 кг; загальна вага зварювальної установки «Вулкан» складала 50 кг.

16 жовтня 1969 р. під час польоту космічного корабля «Союз-6» льотчики-космонавти Г. С. Шонін і В. М. Кубасов (рис. 2) вперше у світовій практиці здійснили зварювання та різання металу в космосі [9]. Цей унікальний експеримент можна вважати початком ери космічної технології [3, 11–13, 17, 19]. Зварювальна установка «Вулкан» була встановлена у побутовому відсіку космічного корабля «Союз-6», а її пульт керування — у спусковому апараті [16]. Після розгерметизації побутового відсіку космонавт-оператор В. М. Кубасов, який перебував у спусковому апараті, включив автоматичне зварювання стисненою дугою низького тиску. Згодом він запустив автоматичні пристрої для зварювання електронним променем і плавким електродом. Під час кожного дослідження космонавт спостерігав за роботою установки за допомогою сигнального табло на пульті керування. Всі експерименти виконувалися в космосі в автоматичному режимі. Дані щодо режиму зварювання і умов проведення експерименту передавалися на Землю і фіксувалися самописцями. Виконаний в космосі експеримент підтвердив зроблені раніше основні припущення і результати досліджень, отримані на літаючій лабораторії ТУ-104 [14]. Було показано, що безпосередньо в космосі процеси плавлення, зварювання і різання електронним променем протікають стабільно, забезпечуються необхідні умови для нормального формування зварних з'єднань і розрізів. Зварювання електронним променем показало себе відмінно, тоді як зварювання стисненою дугою низького тиску не забезпечувало необхідної якості, а при зварюванні плавким електро-

дом шов виходив нерівномірним. Малогабаритні зварювальні пристрої, включені в комплекс установки «Вулкан», показали достатню надійність і працездатність в умовах космосу [17]. Принципові рішення, прийняті при розробці цих пристроїв, виявилися правильними і придатними для конструювання зварювальних установок, призначених для зварювання в космосі конкретних виробів.

Отримані зварні з'єднання були доставлені на Землю і ретельно досліджені [9, 14, 16]. Експерименти на зварювальній установці «Вулкан» дали неоціненну інформацію. Вона дозволила створити нові зразки космічної зварювальної апаратури і розробити прикладні технології зварювальних процесів в космосі [1, 9, 12, 16, 23].

## ВИСНОВКИ

1. Виконано історичний аналіз етапів підготовки та проведення першого зварювального експерименту в умовах космосу.

2. Показано, що визначальний внесок у розробку апаратури та підготовку експерименту було зроблено українськими вченими Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона та Інституту електродинаміки.

*Автори висловлюють подяку доктору технічних наук Ю. М. Ланкіну за корисні зауваження і поради.*

## ЛІТЕРАТУРА

- Горбулін В. П., Яцків Я. С. Б. Є. Патон і розвиток космічної науки та технології. *Космічна наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 5. С. 43–52. URL: <https://doi.org/10.15407/knit2018.05.043> (дата звернення: 01.10.2019).
- История развития сварки в космосе. URL: <https://blog.svarcom.net/statii/svarka-v-kosmose.html> (дата звернення: 01.10.2019).
- Лебедев В. К., Шелягин В. Д., Мохнач В. К., Назаренко О. К., Чалов В. И., Масалов Ю. А. Новая система стабилизации тока и ускоряющего напряжения электронных пушек. *Автоматическая сварка*. 1971. № 9. С. 46–48.
- Патон Б. Е. Сварка в космосе. *Техника молодежи*. 1964. № 11. С. 13.
- Патон Б. Е. Сварка на орбите. *Правда*. 1969. 17 октября.
- Патон Б. Е. Вулкан на орбите. *Советский Союз*. 1969. № 11. С. 4.

7. Патон Б. Е. Заводы в космосе. *Новое время*. 1975. № 15. С. 23—25.
8. Патон Б. Е. (Ред.) *Космос: технологии, материаловедение, конструкции: Сб. науч. тр.* Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2000.
9. Патон Б. Е. 25 лет сварке в открытом космосе. *Космична наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 5. С. 14—18.
10. Патон Б. Е. Предисловие к сборнику научных трудов «Космос: технологии, материаловедение, конструкции». *Космична наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 5. С. 10—13.
11. Патон Б. Е., Гавриш С. С., Шулым В. Ф., Булацев А. Р., Демьяненко В. В., Крюков В. А. и др. Ручные электронно-лучевые технологические работы в космосе. *Автоматическая сварка*. 1999. № 10. С. 7—22.
12. Патон Б., Джанибеков В., Савицкая С. Испытано на орбите. *Наука и жизнь*. 1986. № 2. С. 2—7.
13. Патон Б. Е., Дудко Д. А., Бернадский В. Н. Лапчинский В. Ф. Загребельный А. А. Стесин В. В. и др. Выполнение ручной электронно-лучевой сварки в космосе. *Космическое материаловедение и технология*. Под ред. А. С. Охотин. Москва: Наука, 1977. С. 17—22.
14. Патон Б. Е., Кубасов В. Н. Эксперимент по сварке металлов в космосе. *Автоматическая сварка*. 1970. № 5. С. 7—12.
15. Патон Б. Е., Кубасов, В. Н. Десять лет космической технологии. *Автоматическая сварка*. 1979. № 12. С. 1—3.
16. Патон Б. Е., Лапчинский В. Ф. *Сварка и родственные технологии в космосе*. Киев: Наукова думка, 1998.
17. Патон Б. Е., Назаренко О. К., Чалов В. И., Непорожний Ю. В., Лебедев, В. К. Заруба, И. И. и др. Особенности аппаратуры и процессов электронно-лучевой сварки и резки в условиях космоса. *Автоматическая сварка*. 1971. № 3. С. 3—8.
18. Патон Б. Е., Патон В. Е., Дудко Д. А., Бернадский В. Н., Дубенко Г. П., Лапчинский В. Ф., Стесин В. В., Загребельный А. А., Ланкин Ю. Н., Масалов Ю. А., Цыганков О. С., Бойчук В. М. Стенд для исследования технологических процессов в условиях, имитирующих космос. *Космические исследования на Украине*. 1973. № 1. С. 5—8.
19. *Первая сварка в космосе*. URL: <http://www.alfa-industry.ru/news/104/2835/> (дата звернення 01.10.2019).
20. Пилипчук О., Стрелко О. Міністр шляхів сполучення князь М. І. Хілков (1834—1909): життя та діяльність. *Історія науки і техніки*. 2016. Т. 6, № 9. С. 48—55. URL: <http://hst-journal.com/index.php/hst/article/view/154> (дата звернення: 01.10.2019).
21. Пилипчук О., Стрелко О. Костянтин Миколайович Посьєт (1819—1899): життя та діяльність (до 200-річчя від дня народження). *Історія науки і техніки*. 2017. Т. 7, № 10. С. 56—63. URL: <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2017-7-10-56-63> (дата звернення: 01.10.2019).
22. Пилипчук О., Стрелко О. Тринадцятий міністр шляхів сполучення Російської імперії Гюббенет Адольф Якович (1831—1901 рр.). *Історія науки і техніки*. 2018. Т. 8, № 12. С. 39—52. URL: [https://doi.org/10.32703/2415-7422-2018-8-1\(12\)-39-52](https://doi.org/10.32703/2415-7422-2018-8-1(12)-39-52) (дата звернення: 01.10.2019).
23. Стесин В. В. Е. Патон в работах по космическим технологиям. *Космична наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 5. С. 24—27.
24. Таглина О. *Евгений и Борис Патоны*. Киев: Фолио, 2010.
25. Ясь О. В. Історіографія, як термін. *Енциклопедія історії*. Київ: Наук. думка, 2005. Т. 3. С. 584—591.
26. Garraghan G. J., Delanglez J., Appel L. *A guide to historical method*. New York: Fordham University Press, 1946.
27. Paton B. E. Welding in space. *Welding Engineering*. 1972. 57(1). P. 25—29.
28. Paton B. E., Lapchinskii V. F. *Welding in space and related technologies*. Cambridge: International Science Publishi, 1997.

Стаття надійшла до редакції 08.08.2019

## REFERENCES

1. Horbulin, V. P., Yatskiv, Ya. S. (2018). B. E. Paton and the development of space science and technology. *Space Sci. & Technol.*, 24(5), 43—52 [in Ukrainian]. URL: <https://doi.org/10.15407/knit2018.05.043> (Last accessed 01.10.2019).
2. *The history of the development of welding in space*. URL: <https://blog.svarcom.net/statii/svarka-v-kosmose.html> (Last accessed 01.10.2019).
3. Lebedev, V. K., Shelyagin, V. D., Mokhnach, V. K., Nazarenko, O. K., Chalov, V. I., Masalov, Yu. A. (1971). New system of current stabilization and accelerating voltage of electron guns. *Automatic welding*, 9, 46—48 [in Russian].
4. Paton, B. E. (1964). Welding in space. *Technique for youth*, 11, 13 [in Russian].
5. Paton, B. E. (1969). Welding in orbit. *Pravda*, October 17 [in Russian].
6. Paton, B. E. (1969). Vulcan in orbit. *The Soviet Union*, 11, 4 [in Russian].
7. Paton, B. E. (1975). Plants in space. *New time*, 15, 23—25 [in Russian].
8. Paton, B. E. (Ed.) (2000). *Cosmos: Technologies, Materials Science, Structures. Collection of scientific papers*. Kiev: E. O. Paton Electric Welding Institute NAS of Ukraine [in Russian].
9. Paton, B. E. (2018). 25 years of welding in open space. *Space Sci. & Technol.*, 24(5), 14—18 [in Russian].

10. Paton, B. E. (2018). Preface to the collection of scientific papers "Space: Technologies, Materials Science, Designs". *Space Sci. & Technol.*, 24(5), 10–13 [in Russian].
11. Paton, B. E., Gavrish, S. S., Shulym, V. F., Bulatsev, A. R., Demyanenko, V. V., Kryukov, V. A. et al. (1999). Manual electron beam technological work in space. *Automatic welding*, 10, 7–22 [in Russian].
12. Paton, B., Dzhaniybekov, V. Savitskaya, S. (1986). Tested in orbit. *Science and life*, 2, 2–7 [in Russian].
13. Paton, B. E., Dudko, D. A., Bernadskij, V. N., Lapchinskij, V. F. Zagrebel'nyj, A. A. Stesin, V. V. i dr. (1977). Performance of manual electron beam welding in space. *Space materials science and technology*. A. S. Ohotin (Ed.). Moskva: Nauka. P. 17–22 [In Russian].
14. Paton, B. E., Kubasov, V. N. (1970). Experiment on metal welding in space. *Automatic welding*, 5, 7–12 [in Russian].
15. Paton, B. E., Kubasov, V. N. (1979). Ten years of space technology. *Automatic welding*, 12, 1–3 [in Russian].
16. Paton, B. E., Lapchinskij, V. F. (1998). *Welding and related technologies in space tehnology*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
17. Paton, B. E., Nazarenko, O. K., Chalov, V. I., Neporozhnyj, Yu. V., Lebedev, V. K. Zaruba, I. I. et al. (1971). Features of equipment and processes of electron beam welding and cutting in space. *Automatic welding*, 3, 3–8 [in Russian].
18. Paton, B. E., Paton, V. E., Dudko, D. A., Bernadsky, V. N., Dubenko, G. P., Lapchinsky, V. F., et al. (1973). A stand for the study of technological processes in conditions simulating space. *Space research in Ukraine*, 1, 5–8.
19. The first welding in space. URL: <http://www.alfa-industry.ru/news/104/2835/> (Last accessed 01.10.2019).
20. Pylypchuk, O., Strelko, O. (2016). The railway Minister, Prince M. I. Khilkov (1834–1909): the life and work activities. *History of science and technology*, 6(9), 48–55. URL: <http://hst-journal.com/index.php/hst/article/view/154> (Last accessed 01.10.2019).
21. Pylypchuk, O., Strelko, O. (2017). Kostiantyn Mykolaiovych Pos'iet (1819–1899): life and activity (to the 200th birthday anniversary). *History of science and technology*, 7(10), 56–63. URL: <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2017-7-10-56-63> (Last accessed 01.10.2019).
22. Pylypchuk, O., Strelko, O. (2018). The thirteenth Minister of Railways of the Russian Empire Hiubbenet Adolf Yakovych (1831–1901). *History of science and technology*, 8(12), 39–52. URL: [https://doi.org/10.32703/2415-7422-2018-8-1\(12\)-39-52](https://doi.org/10.32703/2415-7422-2018-8-1(12)-39-52) (Last accessed 01.10.2019).
23. Stesin, V. V. (2018). V. E. Paton in works on space technologies. *Space Sci. & Technol.*, 24(5), 24–27.
24. Taglina, O. (2010). *Evgenij i Boris Paton*. Kiev: Folio [in Russian].
25. Yas, O. V. (2005). Historiography, as a term. *Encyclopedia of History of Ukraine*. Smolii, V. A. (Ed.). Kyiv: Nauk. dumka. 3. P. 584–591 [in Ukrainian].
26. Garraghan, G. J., Delanglez, J., Appel, L. (1946). *A guide to historical method*. New York: Fordham University Press.
27. Paton, B. E. (1972). Welding in space. *Welding Engineering*, 57(1), 25–29.
28. Paton, B. E., Lapchinskii, V. F. *Welding in space and related technologies*. Cambridge: International Science Publishi, 1997.

Received 08.08.2019

О. Г. Стрелко, О. Я. Пилипчук, Ю. А. Бердниченко

Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, Украина

#### К ПЯТИДЕСЯТИЛЕТИЮ ПЕРВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СВАРКЕ В КОСМОСЕ

Статья посвящена отражению исторических этапов зарождения идеи, подготовки и проведения первых экспериментов со сварки материалов в космосе, выполненных 16 октября 1969 года советскими летчиками-космонавтами Георгием Степановичем Шониным и Валерием Николаевичем Кубасовым на космическом корабле «Союз-6». Оценен вклад как отдельных специалистов, так и целых организаций в решении задач подготовки эксперимента, разработки и изготовления необходимого оборудования. Показано ведущую роль в решении указанных задач группы украинских ученых Института электросварки им. Е. О. Патона на главе с академиком Борисом Евгеньевичем Патоном. Исследованы четырехэтапную периодизацию разработки, изготовления и тестирования оборудования и подготовки эксперимента по сварке в космосе. Показана важность результатов экспериментов в условиях, имитирующих космические, для подготовки проведения эксперимента непосредственно в условиях космоса. Проведенные исследования позволили выявить наиболее характерные особенности сварки в условиях невесомости и вакуума. Показано, что именно путем детального анализа результатов проведенных наземных экспериментов, а также экспериментов на летающей лаборатории ТУ-104, были отобраны наиболее перспективные методы сварки в условиях космоса, а именно: электронно-лучевая сварка, сварка плавящимся электродом и сварка жатой дугой. Рассмотрены особенности технических решений, которые были воплощены при разработке и изготовлении комплексного, полностью автономного устройства для сварки «Вулкан», который позволял выполнять на орбите в автоматическом режиме электронно-лучевая сварка, сварка жатой дугой низкого давления и дуговая сварка плавящимся электродом. Показано, что определяющий вклад в разработку сварочной установки «Вулкан» и подготовку первого в мире эксперимента по сварке в космосе сделали украинские ученые Института электросварки им. Е. О. Патона и Института электродинамики.

**Ключевые слова:** история космонавтики, сварка в космосе, сварочная установка «Вулкан», вклад украинских ученых.

*O. H. Strelko, O. Ya. Pylypchuk, Yu. A. Berdnychenko*  
State University of Infrastructure and Technologies,  
Kyiv, Ukraine

#### THE FIFTIETH ANNIVERSARY OF THE FIRST SPACE WELDING EXPERIMENT

The article describes the historical stages of the idea emergence, preparation, and conducting of first space welding experiments on October 16, 1969, by Soviet cosmonauts Georgy Stepanovich Shonin and Valery Nikolaevich Kubasov on-board the spacecraft «Soyuz-6».

The assessment of the contribution of individual specialists and entire organizations in the preparation of the experiment, the development, and manufacture of the necessary equipment was made.

A leading role of a group of Ukrainian scientists of the E. O. Paton Institute of electric welding, headed by academician Boris E. Paton, in solving these problems is shown. The four-stage periodization in the development, manufacture, and testing of equipment and preparation of the space welding experiment is considered. The importance of the results of experiments in conditions simulating the space ones for the prepara-

tion of the experiment directly in space is demonstrated. The preliminary studies gave the possibility to identify the most characteristic features of zero gravity and vacuum welding.

It is shown that the most promising welding techniques in the space environment were selected by a detailed analysis of the results of the ground experiments and experiments on the flying laboratory TU-104. Among them, there were electron beam welding, consumable electrode welding, and plasma arc welding.

The features of the technical solutions implemented in the design and manufacture of a complex, fully automated device for welding «Volcano» are considered. The «Volcano» device provides the use of the automatic mode of all three welding methods on the orbit.

It is shown that a decisive contribution to the development of the «Volcano» welding machine and the first space welding experiment was made by Ukrainian scientists of the E. O. Paton Institute of electric welding and the Institute of electrodynamics of NAS of Ukraine.

**Keywords:** history of space exploration, space welding, welding machine «Volcano», the contribution of the Ukrainian scientists.

**БЕРДНИК Олександр Іванович** — начальник групи відділу проектування ракет космічного призначення та ракетно-космічних комплексів Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля». Член Робочої групи «Критичні послуги» Асоціації місячного села (Moon Village Association).

Напрямок науки — створення ракетно-космічних комплексів, ракет-носіїв, розгінних блоків та злітно-посадочних модулів, в тому числі багаторазового використання, розробка транспортних систем для польотів на всі типи навколосеземних орбіт, відлітні траєкторії, а також поверхню небесних тіл.

**БЕРДНИЧЕНКО Юлія Анатоліївна** — доцент кафедри «Технологій транспорту та управління процесами перевезень» Державного університету інфраструктури та технологій, кандидат історичних наук.

Напрямок науки — історія науки і техніки, теорія і методологія історичної науки, історія природознавства, історія транспорту, історія космічних досліджень.

**БУГАЄНКО Тетяна Костянтинівна** — провідний інженер-програміст відділу динаміки польоту і балістики ракет і космічних апаратів Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — створення та супровід програмно-математичного забезпечення балістичних розрахунків.

**ВІДЬМАЧЕНКО Анатолій Петрович** — виконує обов'язки головного наукового співробітника відділу фізики субзоряних та планетних систем Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України, доктор фізико-математичних наук, професор, академік Академії наук Вищої школи України.

Напрямок науки — дистанційні дослідження планет Сонячної системи і їхніх супутників фотометричними, спектральними і поляриметричними методами, вивчення екзопланет.

**ВІНЦОВСЬКИЙ Олег Мечиславович** — директор представництва Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» у м. Брюссель (Бельгія), кандидат технічних наук.

Напрямок науки — розробка автоматичного управління складними технологічними процесами.

**ДЕГТЯРЕНКО Павло Глібович** — Голова Державного космічного агентства України. Академік міжнародної академії астронавтики.

Напрямок науки — розробка ракетно-космічної техніки та транспортного машинобудування призначеного для космічних цілей.

**ДЖУР Євген Олексійович** — професор Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, доктор технічних наук.

Напрямок науки — матеріалознавство.

**ДОРОЖКО Олександр Іванович** — інженер-конструктор I категорії відділу проектування ракет космічного призначення Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — розробка та проектування надманеврових транспортних засобів призначених для використання в проекті місячного поселення.

**КАЗАНЦЕВА Лілія Вікторівна** — науковий співробітник відділу астрометрії та малих тіл Сонячної системи Астрономічної обсерваторії Київського національного університету ім. Т. Шевченка, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — місячна астрометрія, популяризація науки, дослідження історії астрономії у Києві.

**КАЛІНІНА Наталія Євграфівна** — професор кафедри технологій виробництва Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, доктор технічних наук.

Напрямок науки — матеріалознавство.

**КАЛЯПІН Михайло Дмитрович** — начальник групи відділу проектування спеціальних ракетно-космічних систем Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля». Іменний стипендіат імені А. М. Макарова за досягнення в ракетно-космічній галузі, стипендіат Кабінету Міністрів України для молодих вчених. Член Постійного Комітету з питань космічного сміття Міжнародної академії астронавтики, член Робочої групи «Критичні послуги» Асоціації місячного села (Moon Village Association).

Напрямок науки — створення систем для видалення космічного сміття, створення систем для дослідження і колонізації об'єктів Сонячної системи.

**КАШЕНКОВА Анастасія Вячеславівна** — аспірант Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, інженер-технолог відділу головного металурга Південного машинобудівного заводу ім. О. М. Макарова.

Напрямок науки — матеріалознавство.

**ЛИСЕНКО Юлія Олександрівна** — начальник сектору відділу проектування спеціальних ракетно-космічних систем Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля». Член Робочої групи 1.0 «Архітектурні концепції та завдання Moon Village» (WG 1.0 Moon Village Architectural Concepts).

Напрямок науки — створення систем для дослідження і колонізації об'єктів Сонячної системи, створення систем для видалення космічного сміття.

**МАКАРОВ Олександр Леонідович** — заступник Генерального конструктора Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», кандидат технічних наук, академік Міжнародної академії астронавтики, лауреат Державної премії України.

Напрямок науки — розробка та створення ракетно-космічної техніки, космічних апаратів і супутникових систем різного призначення.

**МОРОЖЕНКО Олександр Васильович** — головний науковий співробітник на громадських засадах відділу фізики субзоряних та планетних систем Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України, доктор фізико-математичних наук, професор. Лауреат премії імені М. П. Барабашова.

Напрямок науки — вивчення планет, їхніх супутників та малих тіл Сонячної системи фотометричними, спектральними і поляриметричними методами.

**НЕВОДОВСЬКИЙ Петро Вікторович** — старший науковий співробітник відділу фізики субзоряних та планетних систем Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — астрономічне і космічне приладобудування, розробка засобів, необхідних для проведення

поляризаційних вимірювань, дослідження астрономічної та космічної апаратури.

**ПИЛИПЧУК Олег Ярославович** — професор кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності» Державного університету інфраструктури та технологій, доктор біологічних наук, професор. Нагороджений медалями імені Івана Пулюя, імені Олександра Богомольця, «20 років Академії наук Вищої освіти України», орденом Святих Кирила та Мефодія від Патріарха Київського і всієї Руси-України Філарета «За заслуги у відродженні духовності в Україні та утвердження Помісної Української православної церкви».

Напрямок науки — історія науки і техніки, теорія і методологія історичної науки, історія природознавства, історія транспорту, історія космічних досліджень.

**СИДОРУК Владислав Олегович** — начальник відділення — заступник начальника комплексу Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — розробка та створення систем управління і вимірювальних систем призначених для ракетної техніки та космічних апаратів.

**СТРЕЛКО Олег Григорович** — професор кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень Державного університету інфраструктури та технологій, доктор історичних наук, професор. Нагороджений Почесною грамотою МОН України та нагрудним знаком МОН України «Відмінник освіти».

Напрямок науки — історія науки і техніки, теорія і методологія історичної науки, історія природознавства, історія транспорту, історія космічних досліджень.

**ЧОЛІЙ Василь Ярославович** — доцент кафедри астрономії та фізики космосу Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — сучасні комп'ютерні технології, математичне моделювання, зоряна астрономія, астрономічні каталоги та бази даних.