

## РАЗРАБОТКА НА ТРЕТО ПОКОЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКА ОРАНЖЕРИЯ "СВЕТ-3"\*

Таня Иванова, Пламен Костов, Светлана Сапунова, Илияна Илиева

Институт за космически изследвания - Българска академия на науките  
ул. Московска 6, София 1000, България

**Keywords:** space, greenhouse, plant, biotechnology, microgravity

### Abstract

*With the development of a third generation SVET-3 Space Greenhouse (SG) the scientists from the "Space Biotechnology" Department, Space Research Institute – developers of the previous two generation SVET-1,2 SG successfully operated onboard the MIR Orbital Station continue working on improvement of the equipment and biotechnology for plant growth under microgravity conditions. Research objectives and working of the microcomputer system that is being developed for plant environment parameters data acquisition and storage and adaptive real time control are described in this paper.*

*The last results from research work carried out during the first stage of the Contract with the Ministry of Education and Science on one of the priority National Scientific Programs "Space Research": study of methods and selection of sensors for a wider monitoring of the plant shoot and root environment are also given. The activity on preparation of laboratory equipment for conducting earth biological and technical tests is described and the prospects for applying the scientific results are outlined.*

### Въведение

Една от основните задачи на фундаменталните космически изследвания е създаването на Биологична система за осигуряване на живота (БСОЖ) на екипажите, базирана на рециклирането на химическите елементи, както това става на Земята. Този проблем трябва да бъде решен преди стартирането на бъдещите дългосрочни космически мисии до Луната и Марс и изграждането на научни лаборатории на повърхността им. При тези полети е невъзможно да се осигурят достатъчно запаси от кислород, вода и храни, или ако тези запаси все пак се вземат на борда, то качеството им не може да бъде запазено продължително време [1,2].

В изкуствените затворени БСОЖ параметрите на околната среда се поддържат по естествен път от обитаващите я живи организми: растения, животни, микроорганизми и хората от екипажа [3]. Растенията, енергийна "врата" на системата чрез фотосинтезата си, могат да осигурят със своята биомаса до голяма степен храната на космонавтите, биологичното пречистване на въздуха от въглеродния диоксид, отделян при дишането на хората, възстановяването на кислорода, както и регулирането на влагата.

Появи се една нова област на науката "Космическо растениевъдство". Основните цели на учените работещи в тази област са: да се разширят изследванията и задълбочат познанията върху фундаменталните механизми, които регулират растежа и нормалното развитие на висшите растения в условия на микрогравитация; да се оцени възможността за оптимално използване на

---

\* Разработката е финансирана по Договор КИ-1-01/03 с МОН

растенията в БСОЖ и да се създаде свободна от стрес среда, в която растенията да се развиват нормално и да дават добиви близки до земните.

Сериозна стъпка към решаването на тези задачи бяха експериментите проведени в разработените от учените в Института за космически изследвания (ИКИ) - БАН две поколения Космически оранжерии (КО) СВЕТ-1,2, работили на борда на Орбитална станция (ОС) МИР. Първата КО СВЕТ-1 - автоматизирана установка за отглеждане на растения в условия на микрогравитация, беше изстреляна на борда на ОС МИР по съвместен руско-български проект на програма Интеркосмос през 1990 г.. В нея бяха проведени първите дългосрочни опити със зеленчукови растения – витаминозна добавка към рациона на космонавтите от екипажа [4].

В началото на 1996 г. беше разработена и изстреляна на борда на ОС МИР второ поколение КО СВЕТ-2, с която по програми финансирани от НАСА работиха много международни екипажи. Бяха проведени серия от експерименти с растения (главно пшеница) с фундаменталната цел да се отгледат растения през един пълен жизнен цикъл на развитие в условия на микрогравитация [5].

До края на 1996г. бе проведен 120-дневен експеримент с пшеница сорт *Super Dwarf*, но класовете върнати на Земята за изследване се оказаха празни, без нито едно семе [6]. Бе доказано, че това се дължи на наличието на етилен в атмосферата на ОС МИР [7]. Експериментите бяха повторени през 1998 г. с друг, по-устойчив на етилен сорт пшеница *Арогее* и бяха получени не само първите 500 “космически” семена пшеница, но и второ поколение семена [8].

През периода 1990 - 2000 година българската апаратура е използвана за провеждането на серия от общо 680 дни космически експерименти с растения по различни научни програми. На космонавтите от последния екипаж на ОС МИР през 2000 г. за пръв път бе разрешено да опитат вкусовите качества на салатените култури отгледани в нея. В резултат на изследванията досега бе доказано, че растенията могат да се развиват нормално в безтегловност и могат да бъдат използвани пълноценно за храна и пречистване на въздуха в бъдещите БСОЖ [9].

Международната космическа станция (МКС) предоставя нови възможности на учените от цял свят да продължат изследванията си с растения в условия на микрогравитация [10]. Създадите се у нас и в европейското пространство условия за финансиране на проекти в приоритетни области на науката, между които са и “Космическите изследвания”, създават условия и българските учени да бъдат включени с тяхното “ноу-хау” в разработката на ново поколение КО.

### **Тема и цел на изследванията**

Българските учени продължиха традиционните си изследвания благодарение на Рамков договор КИ-1/03 по една от приоритетните Национални научни програми “Космически изследвания”, финансирани от МОН с предмет на дейност: “Методи и технологии за осигуряване живота на екипажите при продължителни космически полети”. Целта на програмата е да стимулира развитието на Космическите биотехнологии, за да се запази водещата роля на нашата страна в тази нова област на фундаментални изследвания, извоювана с помощта на досегашните успешни разработки, уникални резултати и научни постижения.

Два от подпроектите, обединени от общата тема: “Проектиране на трето поколение космическа оранжерия “СВЕТ-3”, се изпълняват от ИКИ-БАН (технико-експерименталната част) и от Института по механика - БАН (теоретичната част) с подтеми и съответно ръководители:

1. Разработка на нова система за управление на космическа оранжерия. Експериментална проверка на математически модели на преносни процеси в субстратни среди - ст.н.с. д-р Таня Иванова;
2. Математическо моделиране на преноса на флуиди и хранителни вещества в капиллярно-порести среди - ст.н.с. д-р Славчо Славчев.

Целта на изследванията по тези подтеми е да бъде разработен идеен (ескизен) проект на трето поколение КО СВЕТ-3 за МКС с усъвършенствани методики, технически средства и биотехнологии. Целта на изследването ще бъде постигната чрез:

- Разработка на нова система за управление на КО СВЕТ-3, която да осигури прецизно наблюдение и регистрация на параметрите на средата за развитие на растенията, както и оценка на физиологичното им състояние (съгласно новата концепция).
- Проучване на методи, подбор на датчици и разработка на измерителни системи за разширен мониторинг на параметрите на въздушната среда и следене на някои физиологични процеси.
- Изследване на свойствата на субстратната среда – почва за кореновата система, създаване на методики за оценката ѝ, както и на алгоритъм за управление на влажността в нея.
- Математическо моделиране на оптималните параметри на субстратната коренова среда и изработване на набор от изкуствени хранителни среди.
- Провеждане на лабораторни експерименти за проверка на резултатите от изследванията и моделирането; подбор на субстрат осигуряващ оптимално движение на водата и доставяне на необходимото количество кислород и хранителни вещества към кореновата система на растенията.

### **Методи и технически средства**

В концепцията за трето поколение автоматизирана КО СВЕТ-3, се предвижда да се измерват не само параметрите на средата, в която се отглеждат растенията, но и някои физиологични параметри свързани с растежа и развитието им през целия вегетационен период. Събирайки и обработвайки тези данни, Системата за автоматично управление адаптивно поддържа параметрите на околната среда, така че да се осигурят оптимални резултати – здрави и жизнени растения с богата биомаса [11].

При разработката на ново поколение автоматизирана оранжерия трябва да се използват съвременните постижения на техниката и технологиите, както и нарасналите възможности на служебните системи на МКС с цел да се осигури максимална надеждност на работата на системите при минимални габарити.

Основните блокове на КО СВЕТ-3 са Камера за отглеждане на растенията, Осветление, Коренов модул (КМ) разделен на две еднакви половини - касети К1,2, два Газови анализатора на входния и изходния въздушен поток през камерата (ГА-1,2), Хидро-аеро система и Система за управление.

Наред с температурата и влажността на въздуха и на субстрата, с който е запълнен КМ, се следят фотосинтезата, транспирацията, височината, температурата, площта и осветеността на листата - параметри свързани със “здравето” на растенията. Тъй като те реагират на отклоненията от нормалните условия към които са привикнали със “стрес” - спиране на растежа и дори смърт, целта е да се отработят биотехнологии за подържане на оптимални условия за развитие.

Предвижда се измерване на съдържанието на въглеродния диоксид, кислорода и влагата във въздушния поток на входа и изхода на камерата за

отглеждане на растения с помощта на ГА-1,2 [12]. Определянето на диференциалните разлики на тези параметри е изключително важно за оценка състоянието на растенията и нормалното протичане на експеримента. Паралелното измерване в реално време на налягането в листната зона, където чрез фотосинтезата се осъществява газовия обмен между растенията и околната среда, дава възможност да бъдат изчислени най-показателните за “здравето” им процеси – фотосинтезата и транспирацията [13].

### **Резултати от изследванията**

През 2004 г. е направено проучване на методите и са подбрани датчици за по-разширен, в сравнение с КО СВЕТ-2, мониторинг на следните параметри на средата в листната зона на растенията:

- осветеност в зоната на растенията;
- температура на въздуха;
- относителна влажност на въздуха;
- скорост на въздушния поток подаван към камерата;
- атмосферно налягане в камерата;
- съдържание на CO<sub>2</sub> на входа и изхода на камерата;
- концентрация на O<sub>2</sub> на входа и изхода на камерата;
- температура на листата на растенията;

Усъвършенстват се методите за измерване и управление на един от жизнено важните параметри за нормалното развитие на растенията - влажността на субстрата в кореновата зона независимо в двете полукасети K1 и K2 на КМ. За целта се регистрират и свързаните с това измерване температура на субстрата и разход на вода.

За подобряване на параметрите на кореновата среда и методите за снабдяване на растенията с вода и хранителни вещества е проведена интензивна лабораторна дейност и експерименти. За целта е преработена КО СВЕТ-2:

- Проектиран и изработен е нов КМ, без вентилационни отвори, даващ възможност за провеждане на експерименти в цялата скала на влажността, включително и при насищане.
- Изработени са индивидуални хидросистеми за двете половини на КМ и е осигурена възможност за отчитане на “свободната” вода в обема ѝ.
- Използвана е нова фракция на субстрата 1-1,5 мм за подобряване на хидродинамичните му свойства и осигуряване на приемливо макро-порово пространство за аерация.
- Прекалибрирани са датчиците за измерване на влажността на субстрата и е определен водният баланс.

Така КМ е подготвен за провеждане на всички видове биологични експерименти, хидродинамични изследвания на различни субстратни среди и проверка на математическите модели.

През 2004 г. бяха проведени два дългосрочни експеримента с растения с цел да се проследи влиянието на преовлажняването и недостига на кислород (явления най-често наблюдавани в микрогравитация поради придвижването на водата основно по капилярен път) върху развитието им (хипооксия) и да се определят физиологичните изменения, които могат да бъдат оценени при този изкуствен “стрес” [14].

Още при първия експеримент бяха визуализирани пожълтяване и хлорозни петна върху листата, растенията спряха да се развиват и загинаха преди да достигнат репродуктивната фаза на развитие. Резултатите от експериментите показаха, че дори и при краткотрайно насищане на субстрата с вода, този процес е

фатален за растенията и те загиват. Изключително важно е своевременното “улавяне” на първите признаци на “заболяването” им, регистрирането и отстраняването на причинителя. Повишеното водно съдържание води не само до изменения в растенията, но и до промяна в субстратната среда.

Разработено е Техническо задание на Системата за управление (СУ) на КО СВЕТ-3 - специализирана микрокомпютърна система [15].

Системата за управление събира, записва и обработва в реално време постъпващите от датчиците данни за средата в кореновата и листната зона, анализирайки моментното състояние на растенията. В зависимост от интензивността на основните физиологични процеси (транспирация и фотосинтеза), осъществява адаптивно управление на параметрите на околната среда изработвайки управляващи импулси към изпълнителните механизми: водната помпа, компресора, вентилаторите.

СУ изпраща събраната и обработена информация към централния компютър на МКС, за форматиране и предаване към Земята по телеметричната система. Работи в автономен режим, но се предвижда комуникация от Земята по локалната мрежа на МКС или от екипажа чрез лаптоп.

### **Перспективи**

През втория етап на изследванията ще бъдат дефинирани параметри на субстрата и режими на овлажняване, водещи до оптимално хранене на кореновата система с вода, кислород и хранителни вещества, приложими в условия на микрогравитация. Планираните експерименти в новосъздадената в ИКИ-БАН Лаборатория за биолого-технически изпитания са важен етап от изследванията на развитието на растенията и проектирането на космически оранжерии с крайна цел - създаване на свободна от “стрес” околна среда за отглеждане на растения в условия на микрогравитация.

Резултатите от тези експерименти ще спомогнат за усъвършенстване на култивационните методи и биотехнологии и за по-скорошното достигане до времето, когато космическите екипажи ще се радват на зелената и на възможността редовно да получават свежа, витаминозна добавка към ежедневния си рацион.

Правят се опити да се обединят усилията на специалистите и от другите европейски държави, работещи в тази научна област, за разработка на европейска Космическа оранжерия (EU-SGH) за МКС, главна пречка за което е липсата на средства за членство в ЕКА и за пълноправно участие на българските учени в космическите програми.

Възобновено е сътрудничеството на ИКИ-БАН с Института по медико-биологични проблеми (ИМБП) – РАН, Москва (досегашния ни партньор по проекта КО СВЕТ) в областта на фундаменталните космически изследвания. Подписан е договор за съвместни научни изследвания “Оранжерия - МАРС” за отработване на някои ключови конструктивни въпроси и методики за култивиране на растенията по време на 500-дневен експеримент – пълна имитация на полет до Марс.

Шест-членен екипаж от специално подбрани доброволци ще бъде затворен за 1,5 години, колкото би продължил полетът от Земята до Марс и обратно, в наземен модул в ИМБП, имитиращ космически кораб. На “борда” ще има запаси от 3 тона вода и 5 тона храна. Целта на експеримента, който ще започне в края на 2006 г., е да се проверят реакциите на човешкия организъм и проблемите, които биха възникнали при истински полет. Екип от специалисти денонощно ще следи състоянието на “космонавтите” и ако някой от тях се разболее, ще бъде изваден от модула. Резултатите от експеримента ще бъдат използвани при подготовката и

осъществяването на реалния полет до Марс, който засега се планира не по-рано от 2018 г.

Концепцията за по-близко бъдеще е БСОЖ, които ще бъдат използвани за пилотируемите полети на човека до Луната и Марс, да бъдат комбинирани с традиционните използвани досега физико-химични. Те ще представляват хибридна система, която ще произвежда 70% от O<sub>2</sub> по старата система, а 30% - по биологичната, като с последната ще се регенерира 100% водата.

### References

1. S y c h e v V.N., E.Y. Shepelev, G.I. Meleshko, T.S. Gurieva, M.A. Levimskikh et al. Biological Life Support Systems: Investigations on Board the Orbital Complex Mir. *Aerospace and Environmental Medicine*, Vol.33, 1999, 1, 10-16.
2. I v a n o v a T.N., S.M. Sapunova. Space Greenhouse "SVET" as a Part of a Future Life Support System. Life Sciences Research in Space, Proceedings of the *Fifth European Symposium on Life Sciences Research in Space*, Arcashon, France, 26 Sept.-1 Oct. 1993, *ESA SP-366*, 1994, 249-254.
3. M e l e s h k o G.I., T.S. Guryeva, Ye.Ya. Shepelev, I.A. Abakumova. Quail as a possible Object of Biological Life-Support Systems of Space Crews. *Acta Veterinaria*, 62, 1993, 6, 9-15.
4. I v a n o v a T.N., Yu.A. Berkovich, A.L. Mashinskiy, G.I. Meleshko. The First "Space" Vegetables have been Grown in the "SVET" Greenhouse Using Controlled Environmental Conditions. *Acta Astronautica*, 29, 1993, 8, 639-644.
5. M u s g r a v e M.E., A. Kuang, Y. Xiao, M.A. Levimskikh, V.N. Sychev et al. Gravity Independence of Seed-to-seed Cycling in Brassica rapa. *Planta*, Vol.210, 2000, 400-406.
6. I v a n o v a T.N., P.T. Kostov, S.M. Sapunova, I.W. Dandolov, F.B. Salisbury, G.E. Bingham, V.N. Sytchov et al. Six-Month Space Greenhouse Experiments - a Step to Creation of Future Biological Life Support Systems. *Acta Astronautica*, 42, 1998, 1-8, 11-23.
7. L e v i n s k i k h M.A., V.N. Sychev, T.A. Derendyaeva, O.B. Signalova, F.B. Salisbury, W.F. Campbell, G.E. Bingham, D.L. Bubenheim, and G. Jahns, Analysis of the Spaceflight Effects on Growth and Development of Super Dwarf Wheat Grown on the Space Station Mir. *J. Plant Physiol.*, vol. 156, 2000, 522-529.
8. L e v i n s k i k h M.A., V.N. Sychev, T.A. Derendyaeva, O.B. Signalova, I.G. Podolsky, S.A. Avdeev, and G.E. Bingham, Growth and Development of Plants in a Row of Generations under the Conditions of Space Flight (Experiment Greenhouse-5). *Aviakosm. Ekolog. Med.*, vol. 35(4), 2001, 45-49.
9. I v a n o v a T., Greenhouse Aboard Mir Shows Plants Can Thrive in Space. *21st CENTURY – Science and Technology*, vol. 15(2), 2002, 39-47.
10. B i n g h a m G.E., I.G. Podolsky, M.A. Levimskikh, and V.N. Sychev, LADA, A New Joint Russian – U.S. Plant Greenhouse: Continuing the "Svet" Science and Technology Development Tradition on ISS. *Grav. and Space Bio. Bul.*, vol. 15(1), 2001, Rep. SERGEB99.
11. K o s t o v P., T. Ivanova, I. Dandolov, S. Sapunova, I. Ilieva. Adaptive Environmental Control for Optimal Results during Plant Microgravity Experiments. *Acta Astronautica*, 51, 2002, 1-9, 213-220.
12. M o n j e O., G.E. Bingham, J.G. Carman, W.F. Campbell, F.B. Salisbury, B.K. Eames, V. Sytchov, M.A. Levimskikh, and I. Podolsky, Canopy Photosynthesis and Transpiration in Microgravity: Gas Exchange Measurements aboard MIR, *Adv. Space Res.*, vol. 26(2), 2000, 303-306.
13. K o s t o v P., T. Ivanova, S. Sapunova, I. Dandolov, I. Ilieva. Plant Growth Measurements During the SVET Greenhouse II-b Space Experiments on the MIR SS - a Basis for Development of a Closed Plant Space Habitat. Proceedings of the 12th Int. Sci. Conference *ELECTRONICS ET'2003*, Sozopol, 24-26 Sept. 2003, book 1, 92-97.
14. I l i e v a I., P. Kostov, T. Ivanova, S. Sapunova. Ground control experiment to study the impact of microgravity-specific water and oxygen distribution in substrate media on plants, Proceedings of the *Balkan astronomical meeting – BAM 2004*, Rozhen, Bulgaria, 14-18 June 2004, 22-25.
15. И в а н о в а Т., И. Дандолов, П. Костов. Автоматизирана система за управление на космическа оранжерия. Сборник с доклади от Юбилейна научна сесия "110 години Въздухоплаване в България", Д. Митрополия, 25-26 април 2002, том 2, 2002, 398-403.