

Система, осигуряваща развитието на висши растения, функционираща на орбитална станция „Мир“

Таня Иванова

Институт за космически изследвания, БАН

Космическата оранжерия „СВЕТ“, проектирана и изработена в Института за космически изследвания в България, е система, осигуряваща необходимите технически и технологични условия за развитие на растенията в безтегловност. Тя бе монтирана в технологичния модул „Кристал“, който на 10. VI. 1990 г. успешно се стикова към един от страничните възли на орбиталния комплекс „Мир-Квант-Союз“. Първите два месеца работа на борда доказаха ефективността на взетите технически решения — получиха се първите зеленчукови растения, като условията на развитието им бяха следени чрез телеметрична система. Изследванията на върнатите от екипажа биологични образци показаха, че те не се отличават значително от отгледаните при земни условия.

Създаването на биолого-технически проект на космическа оранжерия е изключително сложна научна задача — трябва да се осъществяват измерването и точното регулиране на параметрите на средата, необходими са и специални методи за управление на биологичния процес, свързани с екстремалните условия на космическия полет (преди всичко безтегловността). Освен това трябваше да се осигурят условия за получаването на няколко последователни вегетации. Бе набелязана обширна програма за изработване на апаратура за предварителни научни експерименти и изследвания.

Програма за регулиране на проекта космическа оранжерия „СВЕТ“

1. Създадените две лабораторни установки (ЛУКОС-1/2) функционираха няколко години (1984—1987) в специална клинична камера в България и в тренажор на орбиталния отсек в Русия, за да се експериментира ефективността на различните конструктивни и технологични решения и да се уточни програмата за работа на компютъра в главните образци.

2. С помощта на предварителния експеримент „Субстрат“, проведен на орбитална станция „Салют-7“ от космонавтите Савиних и Джанибеков през лятото на 1985 г., бяха изследвани хидродинамичните свойства на хранителната среда — субстрата „Балканин“, в условия на безтегловност. Резултатите послужиха за подбор на оптимален фракционен състав на субстрата (големина на гранулите) и за изпитания на датчика за измерване на влажността му [3].

3. На разработения в ИКИ, БАН главен образец (ГО-2) бяха проведени ресурсни биолого-технически изпитания в Русия (1988—1989 г.) със и без растения, резултатите от които послужиха за анализ на разпределението на физическите параметри във фитотропната камера, за уточняване на необходимите корекции в програмата за управление на компютърната система [4].

4. На изработените два летателни образца (ЛО-1, 2) оранжерия „СВЕТ“ бяха проведени всички приемно-предавателни изпитания в България и Русия, като единият от тях бе изстрелян в състава на комплекса апаратура, монтирана на борда на технологичния модул „Кристал“.

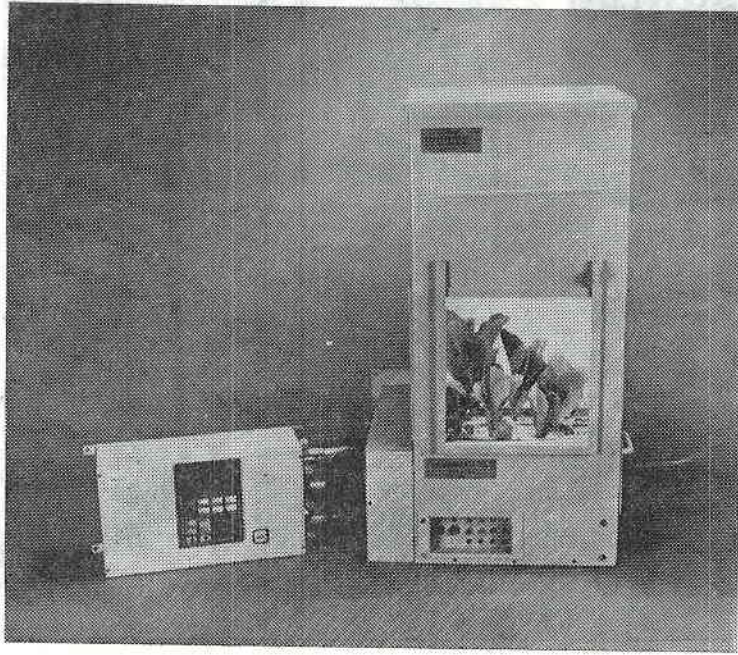
Условия за провеждане на експеримент на борда

Космическата оранжерия „СВЕТ“ бе разконсервирана от работещите в орбита от 13. II. 1990 г. космонавти А. Баладин и А. Соловьев. На 15. VI. 1990 г. бяха демонтирани от корпуса на отсека намиращите се в транспортно положение блок за осветление (поради чувствителността му) и вегетационен съд със субстрат (поради тежестта му) и бяха поставени в камерата за отглеждане на растенията в работното им положение. Бяха съединени кабелите, свързващи ги с блока за автоматично управление, захранван от бордовото напрежение ± 27 V, и предаващи необходимата информация на Земята по телеметричната система TMS.

Общият вид на космическата оранжерия „СВЕТ“ заедно с отгледаните в нея растения се вижда на фиг. 1. Това е т. нар. „главен образец“, идентичен с летателните, в които две години преди старта се провеждаха функционални изпитания. Данните, получени по време на предварителните експерименти, послужиха за сравнение с тези, получени в космически условия. Вдясно е камерата за отглеждане на растенията, а вляво — блокът за управление.

След пълното изпълнение на инструкцията за монтажа космонавтите са включили програмата за автоматична проверка на правилността му. За няколко минути автоматично се опипват всички измерителни управляващи системи, проверява се дали функционират. Тестовата проверка е преминала „без забележки“ и е включена програмата за зареждане на касетата със субстрата с необходимото количество вода. Касетата е разделена на две независими една от друга половинки К1 и К2. Смената на избраните растителни култури (при първия етап репички и китайско зеле) се засажда в 4×2 реда с помощта на специални устройства (за съхранение и ориентация).

Използваният за хранителна среда субстрат „Балканин“ на зеолитна основа е обогатен с минерални соли, за да осигури нормално отглеждане на 3—4 вегетации на зеленчуци. След това продуктивността се снижава рязко, като на десетата вегетация продукцията е 7—10% от контролната. Поради ниската влагоемност на гранулите на субстрата необходимата висока

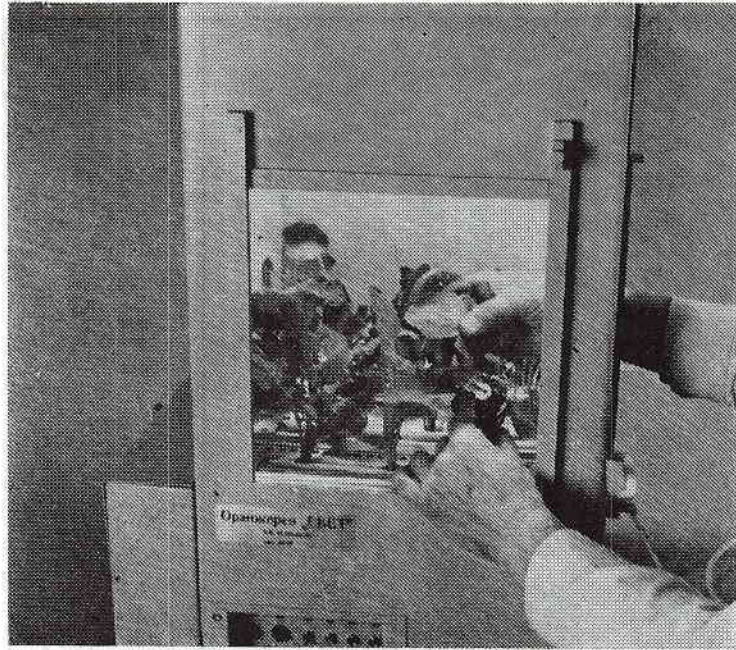


Фиг. 1. Снимка на бордовата система на космическа оранжерия „СВЕТ“

влажност (около 90%) за покълване на семената се осигурява с поливинилформолови фитили, обвити плътно около тръбите на хидросистемата, захранвана от водна помпа. Доброто аериране (обогатяване на кореновите системи с кислород) се осъществява от компресор и тръбна система, монтирана в субстрата. Стените на касетата са перфорирани, за да се подобри въздухообменът, за да се избегнат изпаренията само отгоре и засоляването на повърхностния слой на субстрата. Конструкцията на вегетационния съд е разработена специално в резултат на продължителни изследвания [1, 2].

Касетата със субстрата и тръбните системи се движат свободно по релси (като чекмедже) в камерата за отглеждане на растенията (КОР). След монтирането и фиксирането ѝ се включват изпълнителните механизми на хидроаеросистемата (помпа, компресор и вентил) и електронната измерително-управляваща система, разположени на дъното на КОР. В горната част на КОР е монтиран блокът за осветление (БО), който може да се премества вертикално и да се фиксира в различни позиции. В БО са разположени 12 малогабаритни луминесцентни лампи (специално производство), осигуряващи максималната осветеност на растенията в различни стадии на развитие, не по-малко от 12 000 lx. Продължителността на „деня“ е 16 h, а на „нощта“ — 8 h. Вентилаторът осигурява охлаждане на лампите и движение на въздуха в КОР със скорост на въздушния поток до 0,3 m/s.

КОР е боядисан отвътре с разработена за целта светоотражателна боя, в която липсват забранени за орбиталния обитаем отсек химически елементи. Две от стените на КОР се отварят, като едната е прозрачна, за да се обслужва спокойно камерата от оператора с две ръце (при засаждане на семената, при вземане на опитни образци и други манипулации) - - фиг. 2. В КОР са разположени датчиците за контролиране на параметрите на сре-

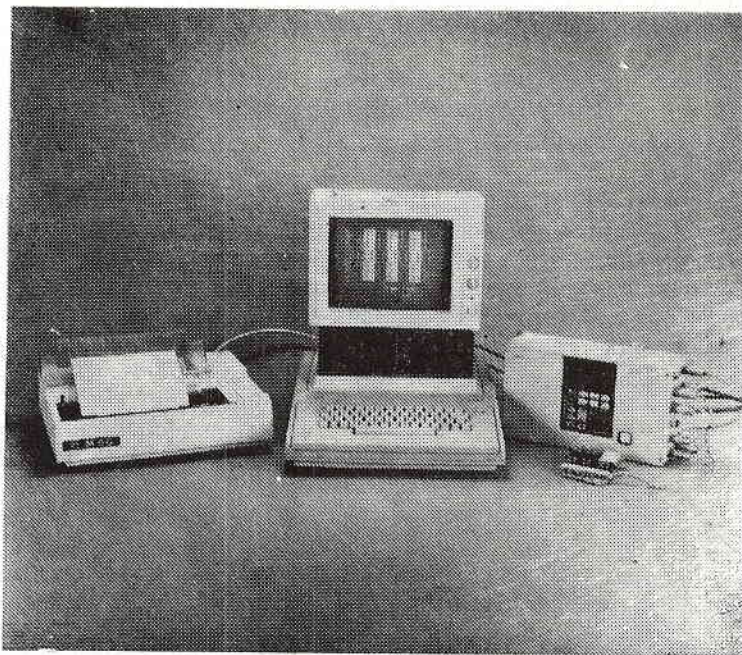


Фиг. 2. Вземане на образци от камерата за отглеждане на растения в космическата оранжерия „СВЕТ“

дата за отглеждане на растенията -- температурата и влажността на въздуха и субстрата (в различни зони), както и за следене на работата (включване и изключване) на осветлението, вентилатора, помпата и компресора.

Блокът за управление (БУ) присма и обработва информация от датчиците, като осъществява управлението на всички изпълнителни системи (осветителна, охлаждателна и напоителна) по определени, предварително заложиени програми и в зависимост от текущата информация. Специализирана микропроцесорна система осигурява висока степен на автоматизация на всички процеси в различните програми и възможност за визуален контрол и ръчно управление от оператора космонавт с помощта на пулт със светодиодни индикатори и клавиши, монтирани на лицевата страна на БУ (фиг. 1). В буферна памет на изхода на микропроцесорната система към телеметричната система (TMS) се натрупва информацията за последното денонощие на текущите параметри в камерата за отглеждане на растенията (регистрирани на всеки 4 h). Тези данни се изпращат три пъти дневно по време на пряка радиовръзка със станция „Мир“ и се приемат в Центъра за управление на полета — ИМБП, Москва. Специално пригoдената за целта апаратура (персонален компютър „Правец 8М“) приема и натрупва в дискета последователните телеметрични кадри за целия експеримент, като може да ги визуализира на монитора или да ги разпечатва на принтера (фиг. 3).

В табл. 1 е представен телеметричният кадър на едно денонощие (6 кадра през 4 часа) от работата на оранжерия „СВЕТ“ със следните означения на измерваните параметри: ТВ1 е температурата на входящия въздух; ТВ2 — температурата на въздуха в КОР; ВВ — влажността на въздуха



Фиг. 3. Контролноизпитателната апаратура

Таблица 1

Телеметричен кадър за едно депозиция от работата на космическата оранжерия „СВЕТ“

№	1	2	3	4	5	6
Ден	4	4	4	4	4	4
ТВ1, °C	20	20	20	20	20	20
ТВ2, °C	23	23	23	23	23	23
ВВ, %	74	74	75	74	74	74
ТС1, °C	26	27	27	28	28	28
ТС2, °C	27	28	29	29	29	29
ВС1, % 1/2	85/66	80/75	96/71	69/59	86/76	71/65
ВС1, % 3/4	63/75	79/72	78/82	99/98	91/68	72/90
ВС2, % 1/2	85/99	80/75	97/71	99/99	86/76	71/65
ВС2, % 3/4	95/83	81/99	78/83	71/98	59/68	72/91
РВ1, дози	2	0	0	3	1	1
РВ2, дози	0	0	0	0	3	1
ППО, min	240	240	240	240	0	0

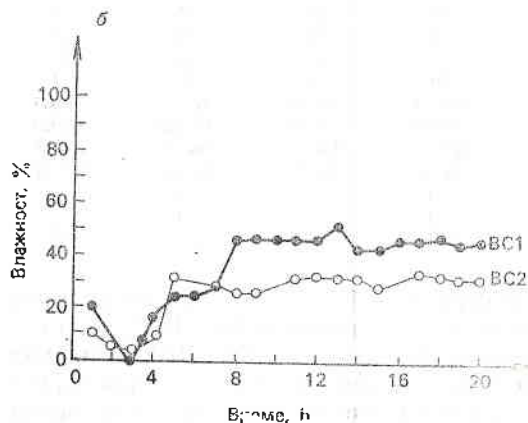
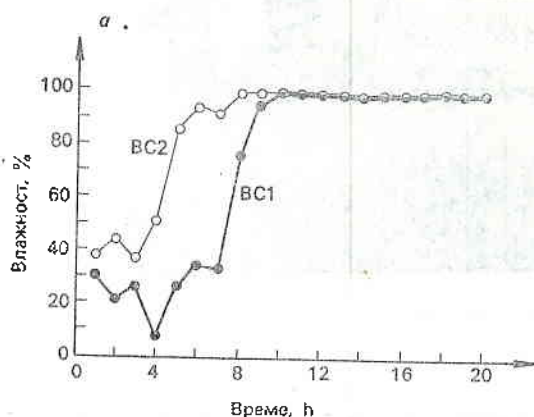
в КОР; ТС1 — температурата на субстрата в К1; ТС2 — температурата на субстрата в К2; ВС1 -- влажността на субстрата в К1; ВС2 — влажността на субстрата в К2; РВ1 — разход на водата в К1; РВ2 — разход на водата в К2; ППО — продължителност на деня в минути. Влажността на субстрата се измерва на всеки кръгъл час (а другите параметри на всеки 4 часа) и телеметричният кадър съдържа съответно четири стойности на ВС1, 2 (1/2; 3/4).

Освен това е разработена програма за автоматична обработка и представяне на отделните параметри в табличен или графичен вид в различни мащаби на времето (часове или дни). Това позволява оперативна оценка

на състоянието на борда, намеса в управлението при необходимост и улеснява изключително много научния анализ на резултатите.

Резултати от първия етап на експеримента с оранжерия „СВЕТ“

На 16. VI. 1990 г. бе стартирана работната програма (Прог. 3) — автоматично управление на оранжерията, осигуряващо необходимите условия за покълване, растеж и развитие на посетите семена. Още по време на изпълнението на програмата за първоначално овлажняване (Прог. 2) бяха забелязани сериозни различия в показанията на датчиците, измерващи влажността на субстрата (BC1 и BC2) на борда



Фиг. 4. Графики на измерената влажност на субстрата от датчиците BC1, BC2, монтирани в двете полукасти на вегетационния съд при Програма 2 на бордов (а) „СВЕТ-4“ и наземен (б) „СВЕТ-2“ експеримент

на „СВЕТ-4“, и в наземния експеримент „СВЕТ-2“. Докато при последния експеримент, проведен на 26. III. 1990 г., се достига до BC1, BC2 около 40%, нормално за подаденото количество вода (30 дози по 12 ml — 360 ml), при бордовия (16. VI. 1990 г.) се стига до 100% влажност още преди изтичането на времетраенето на програмата (10 h) — фиг. 4. По всяка вероятност в безтегловност сериозно се затруднява поглъщането на влагата от субстрата и докато датчиците, разположени до фитила, показват високи стойности на влажността и не се подава вода, субстратът си остава сух. Този ефект е ясно изразен и в следващите дни от работата на оранжерията след стартирането на Прог. 3. В наземния образец продължава интензивното подаване на вода до достигане на регулираното ниво от 70%, а в бордовия „СВЕТ-4“ показанията на BC1 и BC2 са много високи, а постъпилата вода е далеч под необходимото количество.

Оперативната група, намираща се в ЦУП — Москва, бе взела решение да прекрати автоматичното управление на влажността BC1, BC2 от датчиците и да се премине към програмното овлажняване. Но при радиовръзката с екипажа на 22. VI. 1990 г. стана ясно,

че растенията са покълнали и бе повдигнато само нивото на регулиране. През следващите дни започна нормалното поемане на вода и овлажняване на субстрата, а растенията се развиваха добре, макар и изоставащи по фаза в сравнение с наземните.

На 29-ия ден част от растенията бяха обрани и хербаризирани, а на тяхно място засадени нови семена. На 54-ия ден при завръщането си екипажът донесе свежо обрани биологични образци в отлично състояние. Те бяха изследвани още на площадката за приземяване. Морфологичните им характеристики са нормални, по се забелязват забавяне на растежа (почти 2 пъти) и увеличаване на съдържанието на сухо вещество. За първи път бяха получени кореноплоди (грудки) на репички в условията на микрогравитацията.

Биологичната част на експеримента бе осъществена от специалисти на Института по физиология на растенията при БАН, които се заеха с подбора на сортовете растения и състава на хранителната среда, както и с оценка на биологичните им качества.

Проведен е анализ на динамиката на изменение на параметрите на средата по време на експеримента, като е отбелязано, че растенията са се намирали в благоприятни температурни условия (с изключение на периода от 35-ото до 37-ото денонощие), но разпределението на водата не се е осъществявало както в наземни условия. По време на първия етап от функционирането си на борда системите на оранжерия „СВЕТ“, осигуряващи развитието на висши растения в условията на орбитална станция „Мир“, показаха надеждна работа и доказаха ефективността на взетите технически решения.

Литература

1. Беркович, Ю. А., Т. Иванова и др. Вегетационный сосуд для растений. Авт. с-во № 142 4774/22. 05. 1988 г. на Гос. ком. по делам изобретений и открытий, СССР.
2. Беркович, Ю. А., Т. Иванова. Вегетационный сосуд для растений. Авт. с-во № 1598926/1989 г. на Гос. ком. по делам изобретений и открытий, СССР.
3. Иванова, Т. N., P. T. Kostov. Prospects for the Use of the Higher Plants in Space Flight Experiment "Substat". — In: 37th Congress of the IAF, Innsbruck, Austria, October 4-11, 1986, Rep. IAF/IAA-86-374.
4. Иванова, Т. N. et al. Test Results of the Operation Possibility of the "SVET" Greenhouse System. Current Trends in Cosmic Biology and Medicine (Edited by K. Boda). Kosice, CSFR, 1990.

Постъпила на 3. VI. 1991 г.

Higher plants growth support system used on space station "Mir"

Tanja Ivanova

(S u m m a r y)

The "SVET" greenhouse-designed and developed in the Space Research Institute at the Bulgarian Academy of Sciences is a system ensuring the most necessary technical and technological conditions for higher plants growing in weightlessness. It has been mounted in the "Crystal" technological module which docked successfully to one of the lateral units of the "Mir-Kvant-Soyuz" orbital complex on 10. VI. 1990. The first two months of onboard operation proved the effectiveness of the technical solutions — the first vegetables have been obtained, as the development conditions have been observed by telemetry. The study of the brought back biological samples demonstrated that they don't differ very much from the earth's plants.