



УДК 51-76

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАМКНУТОЙ ЭКОСИСТЕМЫ В АГРЕССИВНЫХ УСЛОВИЯХ СРЕДЫ

Д.В. Еленин, М.Е. Усольцева

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В статье исследуется процесс моделирования замкнутой саморегулирующейся биологической системы, на основе простейших ракообразных и фитопланктона *Chlorella vulgaris*, и разработки состава аппаратуры для мониторинга и управления биологическим экспериментом с такой системой. Для достижения этой цели нами была разработана математическая модель, с помощью которой можно осуществлять прогноз состояния системы и система жизнеобеспечения, основная задача которой состоит в поддержании постоянства физических параметров (температура и уровень освещенности) экосистемы.*

Ключевые слова: математическое моделирование, система жизнеобеспечения, замкнутая экосистема, моделирование экосистемы.

Для цитирования:

Еленин Д.В., Усольцева М.Е. Моделирование системы жизнеобеспечения замкнутой экосистемы в агрессивных условиях среды // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(22), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2019 – с. 34-39. РИНЦ.

MODELING OF THE LIFE SUPPORT SYSTEM FOR CLOSED ECOSYSTEM IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTAL CONDITIONS

D.V. Elenin, M. E. Usoltseva

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The article investigates the process of modeling of closed self-regulating biological system based on the simplest crustaceans and phytoplankton *Chlorella vulgaris*, and developing equipment for monitoring and controlling a biological experiment with this system. To achieve this goal, we developed a mathematical model with which you can predict the state of the system and the life support system, the main task of which is to maintain the constancy of the physical parameters (temperature and level of illumination) of the ecosystem.*

Key words: mathematical modeling, life support system, closed ecosystem, ecosystem modeling.

For citation:

Elenin D.V., Usoltseva M.E. Modeling of the life support system for closed ecosystem in aggressive environmental conditions // System analysis and logistics.: №4(22), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2019 – p. 34-39.

Введение

Одна из важнейших систем, необходимы для космических полетов и дальнейшего освоения человеком космического пространства – система жизнеобеспечения людей при продолжительном их пребывании и работе на удаленных от Земли космических станциях, космических кораблях, планетных и лунных базах.

По мере возрастания продолжительности полета запасов требуется все больше и больше а полезная нагрузка космического аппарата весьма ограничена. Поэтому появляется проблема регенерации расходуемых веществ и переработки отходов жизнедеятельности человека и отходов технологических процессов некоторых систем для повторного использования этих веществ.

Решением этой проблемы представляется осуществление внутри ограниченного объема обитаемого космического корабля круговорота веществ. Решающая роль в создании круговорота веществ отводится, как правило, процессам биосинтеза.

К.Э. Циолковский был первым, кто предложил создать в космической ракете замкнутую систему кругооборота всех необходимых для жизни экипажа веществ, т. е. замкнутую экосистему. Он считал, что в космическом корабле в миниатюре должны быть воспроизведены все основные процессы превращения веществ, которые осуществляются в биосфере Земли. Однако почти столетия это



предложение существовало как научно-фантастическая гипотеза.

Практические работы по созданию искусственных космических экосистем на основе процессов биологического круговорота веществ бурно развернулись в США, СССР и некоторых других странах в конце 50-х – начале 60-х годов. Несомненно, что этому способствовали успехи космонавтики, открывшей запуском первого искусственного спутника Земли в 1957 г. эру освоения космического пространства.

В последующие годы по мере расширения и углубления этих работ большинство исследователей могли убедиться в том, что поставленная проблема оказалась гораздо более сложной, чем предполагалось первоначально. Именно поэтому моделирование замкнутых экосистем следует начинать с небольших экспериментов, содержащих по одному виду редуцентов и продуцентов.

Основная цель отработки экспериментальных биотехнических систем жизнеобеспечения заключается в достижении устойчивого практически замкнутого круговорота веществ в экосистеме с экипажем и относительно самостоятельного существования искусственно сформированного биологического круговорота в режиме длительного динамического равновесия на основе преимущественно внутренних механизмов управления.

Биологический круговорот в природе – это циркуляция веществ и химических элементов между почвой, растениями, животными и микроорганизмами. Растения (автотрофные организмы) поглощают энергетически бедные минеральные вещества неживой природы и углекислый газ атмосферы. Эти вещества включаются в состав органической биомассы растительных организмов, обладающей большим запасом энергии, полученной за счет преобразования энергии Солнца в процессе фотосинтеза. Растительная биомасса трансформируется через пищевые цепи в организмах животных и человека (гетеротрофные организмы) с использованием части этих веществ и энергии для собственного роста, развития и размножения. Организмы-разрушители (деструкторы, или редуценты), включающие бактерии, грибы, простейшие и организмы, питающиеся мертвым органическим веществом, минерализуют отходы. Наконец, вещества и химические элементы обратно возвращаются в почву, атмосферу или водную среду. В итоге происходит многоцикловая миграция веществ и химических элементов через разветвленную цепь живых организмов. Эта миграция, постоянно поддерживаемая энергией Солнца, и составляет биологический круговорот.

Степень воспроизводства отдельных циклов общего биологического круговорота достигает 90 – 98%, поэтому о полной его замкнутости можно говорить лишь условно [1]. Основными циклами биосферы являются круговороты углерода, азота, кислорода, фосфора, серы и других биогенных элементов.

Целью нашей работы является обеспечение наибольшего возможного КПД биологического круговорота в простейшей замкнутой экосистеме, помещенной в агрессивные условия среды.

Объект исследования

Наш эксперимент состоит в моделировании замкнутой экосистемы, состоящей из фитопланктона (продуцент) и простейших ракообразных (редуцент). Исследуемая экосистема представляет собой герметичный цилиндр из оргстекла объемом 0,038, 2/3 которого составляет вода и 1/3 воздух [3]. Основу экосистемы составляют фитопланктон (продуценты). При облучении фитопланктона светом, с длиной волны, входящей в диапазон ФАР, запускается фотосинтез (рис. 1) [4]. В процессе фотосинтеза микроводорослями на свету выделяется кислород, происходит поглощение диоксида углерода и создание запасов органических веществ, необходимых для питания живыми организмами – консументами (бактериями и микро-ракообразными).

Частицы водных растений служат пищей бактериям и микро-ракообразным, которые в свою очередь обеспечивают биохимическое восстановление (то есть регенерацию) среды обитания. В процессе своей жизнедеятельности они выделяют в воду сложные органические вещества. Их скопление в замкнутой среде обитания опасно для ее функционирования. Не будь бактерий, эти выделения отравили бы все живое. Бактерии (редуценты) питаются этими веществами и изменяют их природу, превращая в простые безопасные составляющие, которые могут быть вновь использованы растениями. Бактерии обладают еще одним важным свойством. Их численность меняется в зависимости от количества вредных веществ. Увеличивается количество выделений организмов –



становится больше бактерий. С уменьшением выделений сокращается численность микроорганизмов.

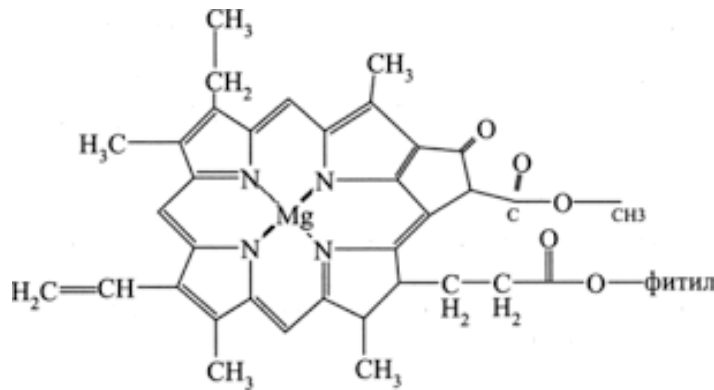


Рис. 1. Общая схема фотосинтеза

Моделирование процессов

Изменение популяции (численности) организмов можно изобразить с помощью уравнения Вольтерра-Лотки [5]:

$$\frac{dx}{dt} = (\alpha - \beta \cdot y) \cdot x,$$

$$\frac{dy}{dt} = (-\gamma + \delta \cdot x) \cdot y,$$

где $\frac{dx}{dt}$ – скорость прироста популяции жертв (фитопланктона), α – коэффициент воспроизводства фитопланктона, β – коэффициент выедания фитопланктона, y – количество биопланктона, x – количество фитопланктона, $\frac{dy}{dt}$ – скорость прироста популяции хищников (биопланктона), γ – коэффициент выедания биопланктона, δ – коэффициент воспроизводства хищников.

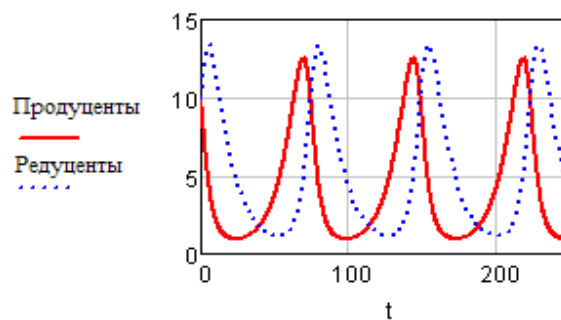


Рис. 2. График зависимости численности популяции от времени

Изменение температуры тела в зависимости от высоты подъема можно определить следующим образом:

$$T := Ts_1 + (Ts_0 - Ts_1) \cdot e^{-\lambda \cdot t},$$

где T – температура тела; T_{s0} – температура среды в начальный момент времени; T_{s1} – температура среды в конечный момент времени; λ – коэффициент теплоотдачи; t – время полета.

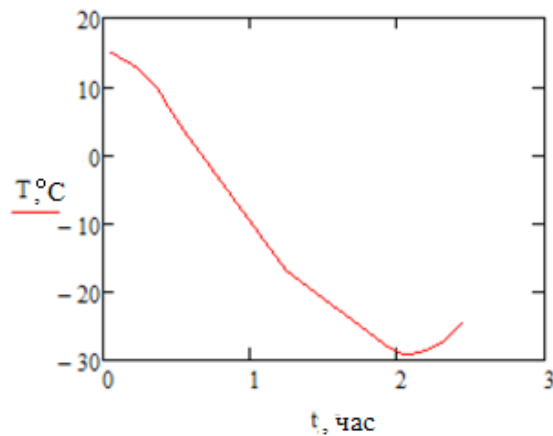


Рис. 3. График изменения температуры объекта в зависимости от времени полета

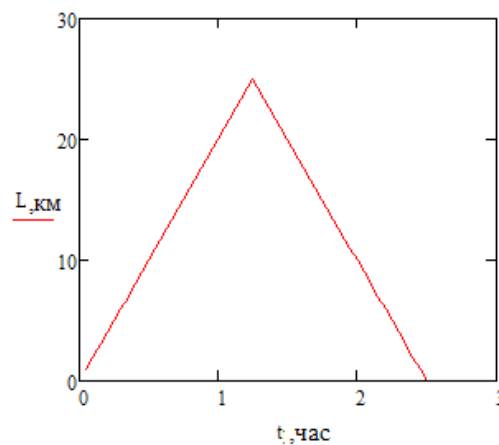


Рис. 4. График изменения высоты в зависимости от времени полета

График построен на основании утверждения, заключающегося в том, что температура окружающей среды падает на 6.5°C при поднятии на каждый километр на высотах от 0 до 11 км, а на высоте от 11 до 25 км претерпевает незначительные изменения.

Описание эксперимента

Единовременно с моделированием системы ведется разработка аппарата с системой жизнеобеспечения, соответствующей необходимым требованиям для поддержания устойчивости физических параметров (таких как уровень освещенности и температура) в замкнутой экосистеме и, как следствие, поддержания устойчивого функционирования самой экосистемы. Для проверки нашей модели в агрессивных условиях среды планируется отправка аппарата, с заключенной в него системой, в стратосферу на стратостате.

Стратостат – свободный аэростат, предназначенный для полетов в стратосферу. Представляет из себя оболочку из тонкого пластика, наполненную гелием. На старте имеет сильно вытянутую грушевидную форму, которая становится шарообразной вблизи верхней точки полета, в следствие расширения газа (рис. 5). Примерная скорость подъема/спуска на стратостате 5-8 м/с. Приерная высота подъема 25 км. Скорость подъема/спуска и конечная высота зависят от веса полезной нагрузки [2].

Времени полета стратосферного зонда недостаточно для прохождения полного жизненного цикла организмов, но благодаря этому эксперименту мы сможем проверить работоспособность системы жизнеобеспечения и выдвинуть гипотезу о влиянии стрессовой ситуации на жизненный



цикл замкнутой экосистемы.



Рис. 5. Визуализация полета стратосферного зонда с полезной нагрузкой

В макетное устройство стратосферного зонда входят: микроконтроллер (Arduino UNO в дальнейшем одноплатный компьютер Raspberry Pi zero), климатические датчики (ds18b20, bmp 180), пространственный (ADXL345), также фоторезистор и совместимая камера OV7670. Информация с датчиков на макете передаётся по wi-fi при помощи модуля esp8266, так же происходит резервное копирование всех данных на sd shield, который находится непосредственно в самом макете. Отследить положение объекта можно при помощи gps модуля NEO M6. За живучесть системы отвечает нагревательный элемент. В стационарном положении вся электроника питается от блока питания на 9 вольт. В дальнейшем вся система будет автономной.

Чтобы обеспечить живучесть замкнутой экосистемы, будет использовано смежное решение с проектом «умной теплицы». Датчик ds18b20 отслеживает температуру внутри аппарата и передаёт её на микроконтроллер, за счёт её изменения напряжение, подающееся на нагревательный элемент, тоже меняется. Таким образом система сама регулирует температуру для поддержания жизни в экосистеме и её дальнейшего развития.

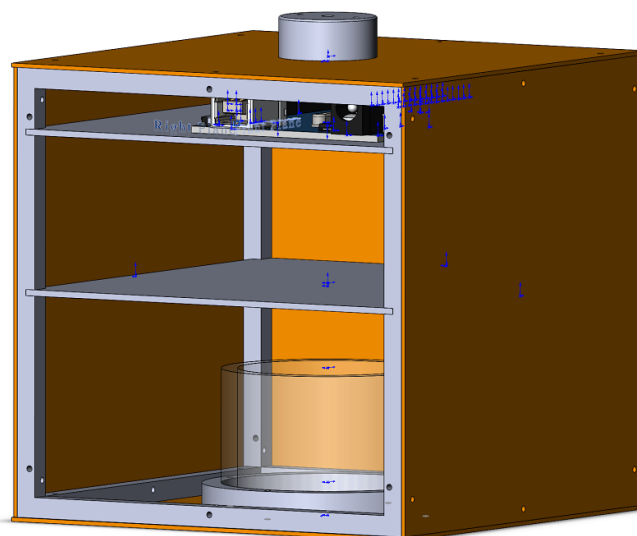


Рис. 6. 3D-модель аппарата без передней стенки



Конструктивно аппарат можно разделить на две основных части. В верхней находится вся электроника и питание, в нижней располагается колба с замкнутой экосистемой (рис. 6). Колба выполнена из поликарбоната и имеет откручивающуюся крышку для загрузки биоматериала. Сам корпус в макете выполнен из дюрала, прослойки из текстолита. В пустотах между колбой и стенками зонда будет находиться нагревательный элемент и утеплитель – пенополистирол.

Заключение

Перед запуском в стратосферу планируется тест системы при низких температурах, для отработки механизмов тепловой изоляции.

Не смотря на небольшую высоту запуска аппарата и время полета эксперимент даст нам неоценимый объем информации о создании замкнутых экосистем и станет почвой для дальнейших, более сложных усовершенствованных экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перфилова О.Ю.* Геохимия биосферы/ О.Ю. Перфилова – М: Красноярск, 2009.- 196 с.
2. *Соейр У.У.* Путь в современную математику/ У.У. Соейр – М: Мир, 1972. -260 с.
3. Stratopedia [Электронный ресурс] // stratocat.com: интернет энциклопедия. 2018. 25 янв. – Режим доступа: <http://stratocat.com.ar/indexe.html> (Дата обращения: 19.10.2019).
4. Tabletop Biosphere [Электронный ресурс] // makezine.com: интернет журнал. 2012.18 дек. – Режим доступа: <https://makezine.com/projects/tabletop-biosphere/> (Дата обращения: 21.10.2019).
5. *Туранов С.Б., Козырева И.Н., Яковлев А.Н.* Способы оценки фотосинтетически активной радиации [Электронный ресурс] // XX Международная научно-практическая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ» С. 149-150. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C01/V1/072.pdf> (Дата обращения: 21.10.2019).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Еленин Даниил Витальевич –

бакалавр

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: lenin178192028@mail.ru

Усольцева Мария Евгеньевна –

бакалавр

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: usoltseva.mariya@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elenin Daniil Vitalievich –

bachelor

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, Bolshaya Morskaya St., 67, lit. A, St. Petersburg, 190000, Russia.

E-mail: lenin178192028@mail.ru

Usoltseva Mariya Evgenievna –

bachelor

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, Bolshaya Morskaya St., 67, lit. A, St. Petersburg, 190000, Russia.

Email: usoltseva.mariya@gmail.com