

УДК 629.78

Расчет тепловой нагрузки лунной оранжереи для системы терморегулирования лунной базы

Хасин Алексей Андреевич¹Мингазова Эвелина Алмазовна²Курочкина Анна Николаевна²Кудрицкий Аркадий Николаевич^{2(*)}

ekorum@voenmeh.ru

¹ ПАО РКК «Энергия», Москва, Россия² БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Представлен расчет тепловых и влажностных нагрузок оранжерейного модуля для лунной базы, предназначенного для обеспечения рациона экипажа из трех человек. На основе площади посадок в 87 м² и заданных климатических параметров рассчитана суммарная тепловая нагрузка на систему терморегулирования, которая составляет 57,8 кВт, система освещения (44,1 кВт) и процессов транспирации растений (1333 л/сутки) в формировании этой нагрузки. Сделан вывод о необходимости высокоэффективной системы терморегулирования с тепловым насосом мощностью ~18 кВт и ее интеграции в общий контур жизнеобеспечения базы.

Ключевые слова: система жизнеобеспечения, тепловыделение, влаговыделение, транспирация растений

Введение. Важность освоения Луны сложно переоценить, а для этого необходимо создание долговременной обитаемой лунной базы, что повлечет за собой необходимость обеспечения питания космонавтов, а значит и внедрение оранжерейных комплексов. Проблема влаговыделения и тепловыделения в таких обстоятельствах встает очень остро.

Исходные параметры оранжерейного модуля. Для обеспечения полноценного растительного рациона экипажа из 3 человек, по аналогии с экспериментом «БИОС-3» [1], определена общая площадь посадок в 87 м² [2]. Структура посадочных площадей включает пшеницу (59 %), чуфу (25 %) и овощи (16 %). Климатические параметры модуля поддерживаются на уровне: температура +28 °С, относительная влажность 70–80 %.

Расчет энергозатрат на освещение и выделяемого тепла. На основании данных о необходимой освещенности для фотосинтеза (650 Вт/м² электричества для пшеницы и 300 Вт/м² для остальных культур) [3] рассчитана суммарная электрическая мощность системы освещения, которая составляет 44,1 кВт. Практически вся потребляемая электроэнергия преобразуется в тепло, рассеиваемое в объеме оранжереи. С учетом КПД светильников и конверсии энергии в растениях, в качестве прямой тепловой нагрузки учитывается ~98 % от этой мощности [3, 4], что составляет ≈ 43,8 кВт.

Влаговыделение и скрытая тепловая нагрузка. При заданном уровне освещенности суммарная транспирация растениями составляет 1333 л/сутки

[5]. Для поддержания стабильной влажности данная влага должна конденсироваться в системе кондиционирования. Процесс конденсации этого количества паров создает значительную скрытую тепловую нагрузку, эквивалентную $\approx 37,4$ кВт.

Суммарная тепловая нагрузка на систему охлаждения. Главными источниками тепла в модуле является тепловая нагрузка: от системы освещения и членов экипажа (3 чел. $\times$ 0,2 кВт) [6] = $\sim 44,4$ кВт, а также скрытая тепловая нагрузка: от конденсации транспирированной влаги = 37,4 кВт. Но так как влага испаряется с растений внутри системы энергия испарения и конденсации равны, а значит необходимо учитывать только мощность, затрачиваемую на работу холодильно-сушильный агрегат составляющая 13,4 кВт. Суммарная тепловая нагрузка на СТР составляет $\approx 57,8$ кВт.

Заключение. Для отвода рассчитанного теплового потока в 57,8 кВт требуется высокоэффективная СТР. Ориентировочная электрическая мощность теплового насоса для решения этой задачи составит около 18 кВт (при коэффициенте эффективности СТР = 4,0 и отведении собственного тепла). Данный расчет подтверждает необходимость интеграции оранжерейного модуля в единый контур СТР лунной базы для оптимального управления тепловыми и влажностными режимами.

Список источников

- [1] Лисовский Г.М. *Замкнутая система: человек – высшие растения*. Новосибирск, Наука, Сибирское отделение, 1979, 159 с.
- [2] Жуков Д.Д., Кудрицкий А.Н., Хасин А.А. Проект космической биологической системы жизнеобеспечения. *XXIII Науч.-техн. конф. Молодых ученых и специалистов ПАО «РКК «Энергия»: сб. докл.* Королев, ПАО «РКК «Энергия», 2024, с. 25–27.
- [3] Zeidler C., Vrakking V., Bamsey M., Poulet L., Zabel P., Schubert D., Paille C., Mazzoleni E., Domurath N. Greenhouse Module for Space System: A Lunar Greenhouse Design. *The Open Agriculture Journal*, 2017, vol. 2, pp. 116–132.
<https://doi.org/10.1515/opag-2017-0011>
- [4] Anpo M., Fukuda H., Wada T. *Plant Factory Using Artificial Light: Adapting to Environmental Disruption and Clues to Agricultural Innovation*. Amsterdam, Elsevier, 2019, 106 p.
- [5] Подольский И.Г. *Исследование и разработка метода и оборудования для регулирования водно-воздушного режима капиллярно-пористых тел (корнеобитаемых сред) в оранжерейных устройствах для условий микрогравитации*. Дис. ... канд. техн. наук, Москва, 2000, 145 с.
- [6] Лобанов Д.В., Звенигородский И.И., Свирин М.В., Сафонов С.А., Семиненко А.С. Определение теплоступлений от человека с учетом энерготрат и физической активности. *Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова*, 2023, № 1, с. 42–52.
<https://doi.org/10.34031/2071-7318-2022-8-1-42-52>