

Перейдем в (29) к пределу $t \rightarrow -\infty$. Тогда, учитывая формулу (13) и асимптотические свойства функций $\psi(t)$, $\varphi(t)$, $A(t)$, получим

$$\tilde{v}_{00}^{(1)} - v_{00}^{(1)} = b \ln(\tilde{\Lambda}^{-1} \Lambda). \quad (30)$$

То есть зависимость параметра Λ от выбора базовых наблюдаемых полностью определяется величиной $v_{00}^{(1)}$. Сама эта поправка зависит от выбора схемы перенормировок, но разность $\tilde{v}_{00}^{(1)} - v_{00}^{(1)}$ не зависит.

Таким образом, все наблюдаемые величины схемно-независимым образом могут быть выражены через базовые наблюдаемые. В свою очередь последние также схемно-независимо выражаются через несколько констант, в рассмотренной характерной модели — через две константы: L и Λ , причем первая из них не зависит от того, какие величины выбраны в качестве базовых наблюдаемых, а вторая зависит, но эта зависимость полностью определяется первой поправкой обычной теории возмущений и поэтому элементарно учитывается.

Все это позволяет для нахождения базовых констант L и Λ использовать широкий круг экспериментальных данных, что существенным образом повышает надежность определения этих констант. Реальный путь такой: экспериментально находятся величины $A(\mu_0)$ и $M(\mu_0)$, а из них по формулам (28) рассчитываются константы L и Λ . Затем экспериментально находятся $\tilde{A}(\tilde{\mu}_0)$, $\tilde{M}(\tilde{\mu}_0)$ и из них определяются L , $\tilde{\Lambda}$. Последние с помощью (30) пересчитываются в L и Λ . Таким способом для этих констант может быть набрана достаточно хорошая статистика.

Вместо константы Λ в качестве величины, не зависящей от выбора базовых наблюдаемых, можно использовать $d = b \ln(\lambda^{-1} \Lambda) + v_{00}^{(1)}$, где λ — параметр размерности массы, фиксируемый по нашему произволу. К сожалению, константа d через $v_{00}^{(1)}$ зависит от схемы перенормировок. Впрочем, эта зависимость элементарно учитывается.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Славнов Д. А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1994. 35, № 3. С. 16.
[2] Weipberg S. // Phys. Rev. 1960. 118. P. 838. [3] Fink J. P. // Math. Phys. 1968. 9. P. 1389. [4] Славнов Д. А. // ТМФ. 1973. 27, № 2. С. 169. [5] Dhar A., Gupta V. // Phys. Rev. 1984. D29. P. 2822.

Поступила в редакцию
27.01.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1994. Т. 35, № 5

УДК 536.33:551.5

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ТЕПЛЫХ ОАЗИСОВ В ЗАПОЛЯРЬЕ

А. В. Лукьянов

(кафедра математики)

Рассматривается возможность создания в Заполярье теплых больших оазисов, застекленных сверху и подогреваемых в течение всего года солнечным светом, отраженным большими пленочными рефлекторами, движущимися в космосе по геоцентрической орбите. Построены и исследованы математические модели теплового режима таких оазисов. Рассмотрены модели, соответствующие районам с мягким и суровым климатом. Рассчитаны сезонные и суточные колебания температур. Показана возможность создания как умеренного, так и субтропического климата в оазисе.

М. В. Ломоносов предвидел, что Россия будет прирастать Сибирью. Сейчас осваивается и ее северная часть. Однако, осваивая Север, нельзя слишком сильно изменять северную природную среду. Общее потепление Заполярья может привести к негативным глобальным изменениям климата. Нужно использовать северную природу так, чтобы она принесла пользу: создавать звероводческие и лесозаготовительные фермы, использовать дары тундры, создавать предприятия по переработке местных ресурсов. Суровый климат, трудности с продовольствием, темнота в течение зимы и отсутствие местных хороших курортов являются тормозом для освоения этих областей. Автор предлагает [1], не нарушая общего климата северных регионов, создать там несколько теплых и светлых оазисов, которые могли бы круглогодично снабжать местное население овощами и другим продовольствием. В этих оазисах могут быть созданы хорошие курорты, а также сосредоточена обрабатывающая промышленность. Такой оазис круглогодично освещается солнечным светом, отраженным пленочными отражателями, находящимися в космосе на геоцентрических орбитах [2—5]. В настоящей статье излагается основной материал работы [1] с небольшими дополнениями.

Площадь освещенной отражателем области зависит от высоты его орбиты. Зеркало (солетту) целесообразно поместить на круговой или эллиптической орбите, близкой к полярной, с периодом обращения 6, 12 или 24 ч. Для круглосуточного освещения можно использовать несколько зеркал [3, 5]. Выбор конкретной орбиты и направления движения зависит от географического положения и климата района оазиса и желаемых климатических условий внутри оазиса.

Освещенное пространство покрывается стеклянными куполами. Стекло рамы вставляются в ячейки каркаса из металлических ферм. Это могут быть постройки арочного типа высотой до ста метров, шириной в сотни метров и практически неограниченной длины (рис. 1). Возможны купола иной формы, например сферические. Солнечная радиация, проходя через стекло, нагревает землю. Теплоотдача же через многослойное стекло может быть очень малой. Возникает парниковый эффект. Поглощенное тепло сначала идет на разогрев грунта, растаивание вечной мерзлоты. Лишь по прошествии достаточного времени устанавливается квазистационарный тепловой режим с сезонными и суточными колебаниями температуры. При этом температура существенно зависит от свойств стеклянного покрытия и может быть разной под различными куполами. Этим можно пользоваться для создания разного климата в разных частях оазиса. Температура зависит также от интенсивности облучения, т. е. от размеров орбитальных отражателей. Поскольку, несмотря на высокую температуру под куполом, поток тепла во внешнюю среду через стеклянное ограждение оказывается небольшим, существенного влияния на общий климат в Заполярье не будет. Конструкция обеспечивает очистку стеклянного покрытия от снега и пыли. Встроенные внутрь некоторых участков стеклянного покрытия полупроводниковые солнечные батареи обеспечивают оазис электроэнергией. Возможно также создание на территории оазиса ректенны, принимающей энергию от космической солнечной электростанции.

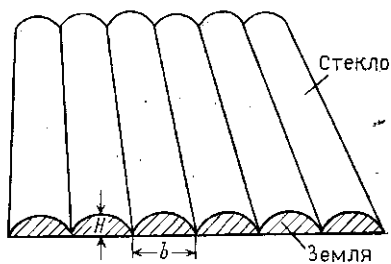


Рис. 1. Арочное покрытие оазиса:
 $H \approx 100$ м, $b \approx 300$ м

температуры. При этом температура существенно зависит от свойств стеклянного покрытия и может быть разной под различными куполами. Этим можно пользоваться для создания разного климата в разных частях оазиса. Температура зависит также от интенсивности облучения, т. е. от размеров орбитальных отражателей. Поскольку, несмотря на высокую температуру под куполом, поток тепла во внешнюю среду через стеклянное ограждение оказывается небольшим, существенного влияния на общий климат в Заполярье не будет. Конструкция обеспечивает очистку стеклянного покрытия от снега и пыли. Встроенные внутрь некоторых участков стеклянного покрытия полупроводниковые солнечные батареи обеспечивают оазис электроэнергией. Возможно также создание на территории оазиса ректенны, принимающей энергию от космической солнечной электростанции.

Целесообразна плотная застройка всего освещенного района. Однако она может вестись постепенно в течение многих десятилетий. Сначала можно осветить район лунеттой [5], не создающей теплового эффекта, но способствующей производству работ. Отапливать здания на этом этапе можно с помощью ископаемых видов топлива. Стекланные купола уменьшат теплоотдачу в атмосферу и сэкономят топливо. Одновременно с постройкой наземных сооружений нужно наращивать космическое зеркало с таким расчетом, чтобы через несколько десятилетий оно обеспечило нужный тепловой эффект. При этом целесообразно использовать внеземные материалы и автоматическую аппаратуру, установленную на близком к Земле астероиде.

Исследуем тепловой режим в оазисе, не учитывая тепло, выделяющееся в результате хозяйственной деятельности. Это тепло может лишь увеличить температуру под куполом, и, следовательно, требуемый поток энергии от солетты и ее стоимость уменьшатся. Теплоотдача через многослойное стекло происходит за счет конвекции и теплового переизлучения. В теплотехнике для рам с двойным остеклением обычным оконным стеклом принято значение коэффициента теплопередачи $u = 2,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. При тройном остеклении $u = 1,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. В действительности u слегка зависит от наклона рам, скорости ветра, а также внешней и внутренней температур. Через двойное остекление проходит 72% падающей лучистой энергии, а через тройное 60%. Однако эти значения верны лишь для чистого стекла при углах падения лучей больше 45°.

На тепловой режим в оазисе существенно влияют тепловые характеристики грунта: удельные теплопроводность k и теплоемкость c , а также плотность ρ . Для разных грунтов они различны, особенно теплопроводность, и зависят также от влажности. Для многих глин $k = 1,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, $c = 800 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, $\rho = 2 \text{ т}/\text{м}^3$. Эти значения и приняты в дальнейших расчетах, так как являются в каком-то смысле средними для различных грунтов.

Рассмотрим математические модели квазистационарного теплового режима. Оценим сначала среднесуточные температуры в оазисе. Климат различных районов Заполярья и погода весьма различны. На Кольском полуострове, например в районе Мурманска, климат сравнительно мягкий: холодное лето, но относительно теплые зимы. В Восточной Сибири зимы очень суровы. Примем следующую модель сезонного изменения среднесуточных наружных температур:

$$T_0 = A + B \sin \omega t,$$

где A , B — константы, $\omega = 2\pi \text{ год}^{-1}$, t — время. Пусть \bar{N} — среднесуточный поток лучистой энергии, поглощаемый единицей площади оазиса. Тогда температура $T(z, t)$ грунта в оазисе будет удовлетворять условиям

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad \text{при } 0 \leq z < \infty, \quad -\infty < t < \infty,$$

$$k \frac{\partial T}{\partial z} + \bar{N} = u(T - T_0) \quad \text{при } z = 0, \quad -\infty < t < \infty,$$

ось z направлена вниз, u — коэффициент теплопередачи от поверхности грунта к наружной среде.

Если грунт считать однородным и для потока \bar{N} принять простейшую модель:

$$\bar{N} = N_1 - N_2 \sin \omega t, \quad N_1, N_2 \text{ — константы,}$$

то $T = A_1 + v(x, \tau)$, где $A_1 = A + N_1/u$, v — ограниченное периодическое по τ решение задачи

$$v_\tau = v_{xx} \text{ при } 0 < x < \infty, \quad -\infty < \tau < \infty,$$

$$(v_x - hv)|_{x=0} = -hB_1 \sin \omega_1 \tau.$$

Здесь $\tau = t/t_0$, $t_0 = 12$ ч, $x = z/z_0$, $z_0 = \sqrt{kt_0/c\rho}$, $h = uz_0/k$, $\omega_1 = \pi/365,24$, $B_1 = B - N_2/u$.

Полагая $v = \text{Im } \omega$, $\omega = X(x) \exp(i\omega_1 \tau)$, получим

$$X'' - i\omega_1 X = 0 \text{ при } 0 \leq x < \infty,$$

$$X'(0) - hX(0) = -hB_1, \quad X \rightarrow 0 \text{ при } x \rightarrow \infty.$$

Решение этой задачи имеет вид

$$X = B_2 \exp\{- (1+i) \sqrt{\omega_1/2} x - i\delta\},$$

$$B_2 = hB_1 / \sqrt{(h + \sqrt{\omega_1/2})^2 + \omega_1/2},$$

$$\delta = \arcsin [1 / \sqrt{1 + (1 + h/\sqrt{\omega_1/2})^2}].$$

Отсюда температура поверхности грунта в оазисе

$$T(0, t) = A_1 + B_2 \sin(\omega t - \delta).$$

При указанных выше значениях k , c , ρ и $u = 1,9$ Вт/(м²·К) (тройное остекление) получается $h = 0,24$, $B_2 = 0,77 B_1$, $\delta = 0,21$. На рис. 2 приведены сезонные изменения среднесуточных температур в оазисе в районе с мягким климатом при освещении, не зависящем от сезона ($N_2 = 0$). Штриховая кривая — среднесуточные наружные температуры. Видно, что сравнительно небольшого облучения достаточно для создания в оазисе как умеренного, так и субтропического климата. На рис. 3

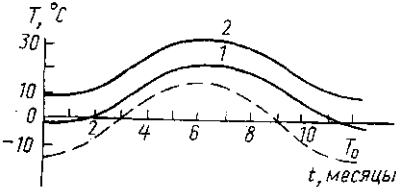


Рис. 2. Сезонные изменения среднесуточных температур в оазисе в районе с мягким климатом при разной интенсивности освещения и $N_2 = 0$: 1 — $N_1 = 19,1$ Вт/м² ($N_0 = 100$ Вт/м²); 2 — $N_1 = 38,2$ Вт/м² ($N_0 = 200$ Вт/м²), T_0 — наружная среднесуточная температура

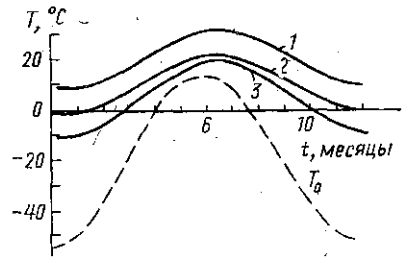


Рис. 3. Сезонные изменения среднесуточной температуры в оазисе в районе с суровым климатом: 1 — $N_1 = 76,2$ Вт/м², $N_2 = 38$ Вт/м²; 2 — $N_1 = 57,1$ Вт/м², $N_2 = 38$ Вт/м²; 3 — $N_1 = 47,5$ Вт/м², $N_2 = 28,5$ Вт/м² (max $N_0 = 600, 500$ и 400 Вт/м², min $N_0 = 200, 100$ и 100 Вт/м²)

приведены среднесуточные температуры в районе с суровым климатом. Здесь уже для создания хорошего климата в оазисе необходимо более интенсивное облучение зимой. Поток \bar{N} учитывает радиацию, поступающую как от солетки, так и непосредственно от Солнца. Поэтому даже при $N_2 = 0$ солетка должна работать более интенсивно зимой. Отметим, также, что наружная температура T_0 над оазисом может оказаться выше среднесуточной температуры за пределами оазиса.

Важной характеристикой климата являются суточные колебания температуры. Отклонения реальных температур от среднесуточных за-

висят от суточного режима облучения. Этот режим зависит от орбиты солетты, которая может задаваться по-разному в зависимости от географического положения оазиса и желаемого климата в нем. В действительности режим облучения будет довольно сложным и различным в разное время года. Рассмотрим модель, в которой оазис освещается лишь 12 ч в сутки и поток энергии, падающей на поверхность земли в оазисе, днем меняется по закону

$$N(\tau) = N_* \sin \pi \tau, \quad N_* = \text{const.}$$

Такой режим может реализоваться зимой. При этом $\bar{N} = N_*/\pi$ и при тройном остеклении $N_* = 0,6 N_0$, где N_0 — максимальная плотность энергии (в полдень), падающей на внешнюю поверхность остекления.

Как известно [6], ограниченное решение задачи

$$\omega_\tau = \omega_{xx} \quad \text{при} \quad 0 \leq x < \infty, \quad 0 < \tau < \infty,$$

$$(\omega_x - h\omega)|_{x=0} = -h\varphi(\tau) \quad \text{при} \quad \tau > 0,$$

$$\omega(x, 0) = 0 \quad \text{при} \quad 0 \leq x < \infty$$

имеет вид

$$\omega(x, \tau) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \frac{\varphi(\alpha)}{\sqrt{\tau-\alpha}} \left[\exp \left\{ -\frac{x^2}{4(\tau-\alpha)} \right\} - \right. \\ \left. - h \int_0^\infty \exp \left\{ -\frac{(x+\eta)^2}{4(\tau-\alpha)} - h\eta \right\} d\eta \right] d\alpha.$$

Пользуясь этим соотношением и полагая

$$\varphi(\tau) = \varphi_*(\tau) - T_*/\pi, \quad T_* = N_*/u,$$

$$\varphi_* = \begin{cases} T_* \sin \pi \tau & \text{при} \quad 2n < \tau < 2n+1, \\ 0 & \text{при} \quad 2n+1 \leq \tau \leq 2n+2, \quad n=0, 1, 2, \dots, \end{cases}$$

можно найти квазистационарный режим, при котором температура будет мало меняться при изменении n , больших некоторого n_0 . Этот режим и принимался в качестве математической модели суточных отклонений температуры ΔT от среднесуточной. Интегрирование проводилось численно на ЭВМ при $x=0$ методом Симпсона отдельно на каждом отрезке $[n, n+1]$. Особая точка выделялась. Квазистационарный режим устанавливался с точностью до 0,1% при $n_0=40$, а с точностью 1% при $n_0=10$.

Результаты расчета приведены на рис. 4. Видно, что в случае режимов освещения, соответствующих рис. 2, суточные колебания температуры в оазисе весьма малы и не превышают обычных суточных колебаний в умеренных широтах. Однако при режимах, соответствующих рис. 3, колебания зимой значительны. При $N_0=600$ Вт/м² они неприемлемо велики. Поэтому в районах с суровым климатом зимой следует увеличивать не только интенсивность освещения, но и продолжительность дня. Этого можно достичь надлежащим выбором орбиты солетты. Поместив две солетты на 6-часовой эллиптической орбите или шесть солетт на 6-часовой круговой орбите, можно достичь круглосуточного освещения, уменьшив суточные колебания температуры почти до нуля.

Поток энергии в луче от солетты должен быть больше N_0 раза в 2—4, так как часть энергии отразится и поглотится атмосферой. Тем не менее площадь солетты не будет существенно превышать площадь

освещенного района. Солетта может быть изготовлена из веземных материалов [5], например из никелистого железа, которого много на близких к Земле астероидах. Для ее постройки, например, в течение 20 лет нужно создать на астероиде автоматическое производство металла, фольги и металлических ферм, не превышающее 0,3% их производства в СССР в начале 90-х годов. Доставка фрагментов солетты с астероида на нужную орбиту осуществляется с помощью светового давления за счет парусности самих этих элементов. На рабочей орбите при необходимости фрагменты могут состыковываться.

Производство на астероиде нужно начать с создания модулей затеняющего экрана [7], чтобы поток тепла от солетты не нарушил общего теплового баланса Земли.

Отметим также, что дополнительное облучение верхней атмосферы солнечным светом, включая ультрафиолет, будет способствовать сохранению и восстановлению озонового слоя в северных областях.

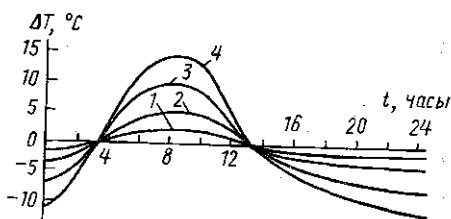


Рис. 4. Суточные колебания температуры: ΔT — отклонения температуры от среднесуточной, кривые 1, 2, 3 и 4 соответствуют значениям $N_0 = 100, 200, 400$ и 600 Вт/м^2

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лукьянов А. В. Деп. ВИНТИ № 4530-В91. М., 1991. [2] Лукьянов А. В. Деп. ВИНТИ № 1311-69. М., 1969. [3] Лукьянов А. В. Плечные отражатели в космосе. М., 1977. [4] Лукьянов А. В. Деп. ВИНТИ № 1352-78. М.; № 1353-78. М.; № 2163-78. М., 1978. [5] Ванке В. А., Лесков Л. В., Лукьянов А. В. Космические энергосистемы. М., 1990. [6] Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М., 1966. [7] Лукьянов А. В. // Космич. исслед. 1992. 30, № 1. С. 127.

Поступила в редакцию
01.10.93

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1994. Т. 35, № 5

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

УДК 539.186

О СТРУКТУРНЫХ ЭФФЕКТАХ В СЕЧЕНИЯХ ПЕРЕЗАРЯДКИ ПРОТОНОВ. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В. С. Николаев, И. С. Дмитриев, Я. А. Теплова, Ю. А. Файнберг

(НИИЯФ)

Рассмотрены экспериментальные сечения перезарядки протонов в различных средах при энергии $E = 0,025 - 10 \text{ МэВ}$. Показано, что с увеличением E до 10 МэВ отношения сечений перезарядки протонов в азоте, неоне и аргоне изменяются в 5—8 раз немонотонно. Установлено, что возрастание или уменьшение отношения этих сечений при увеличении энергии E обусловлено аналогичным поведением отношения плотностей электронных импульсов в атомах рассматриваемых сред, когда значения импульсов близки к минимальному, передаваемому захватываемому электрону от атома среды.