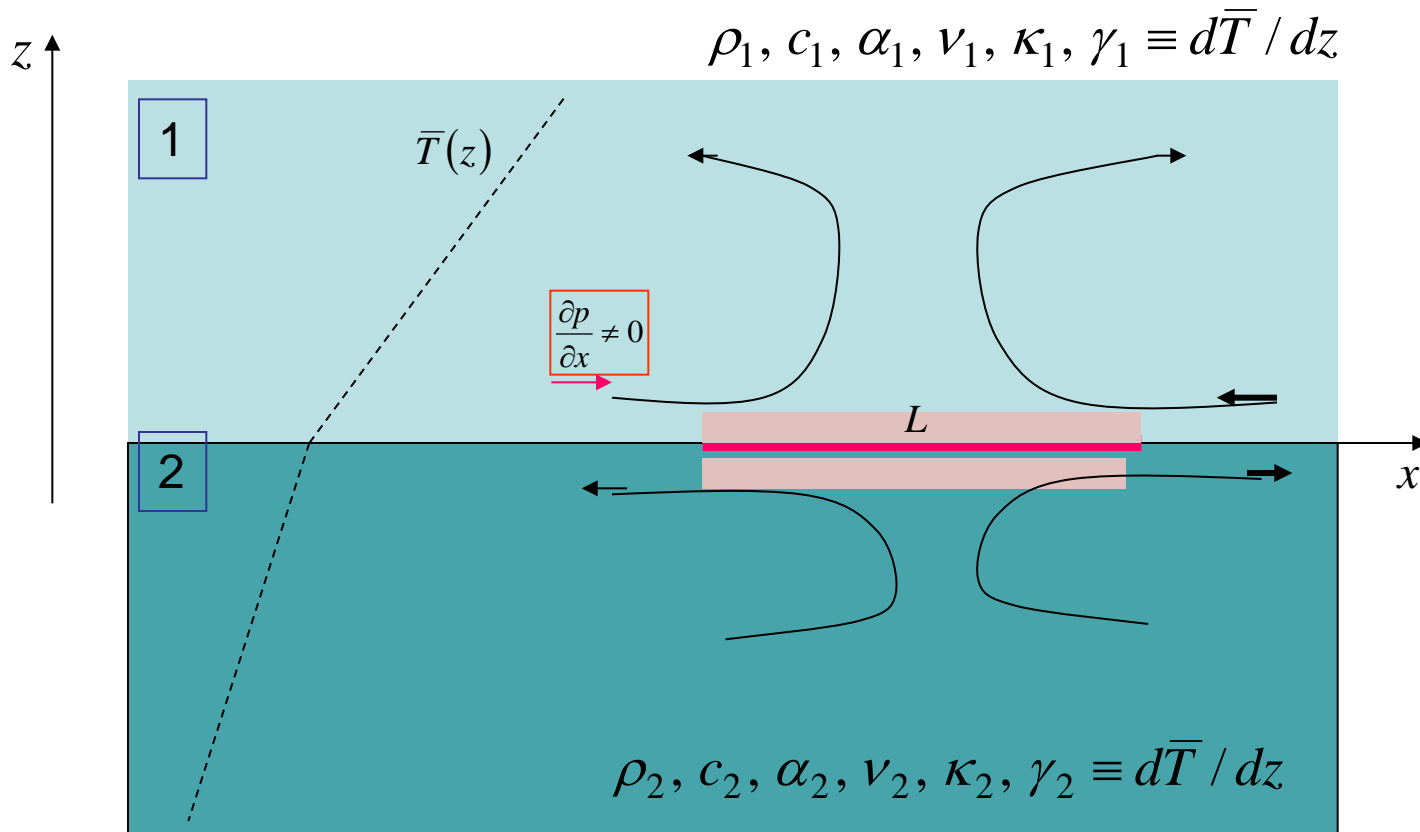


ОЦЕНКА АМПЛИТУДЫ НЕЛИНЕЙНОЙ «АНТИКОНВЕКЦИИ»

Л.Х. Ингель *lev.ingel@gmail.com*

ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, Обнинск Калужской обл., ул. Победы, 4
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

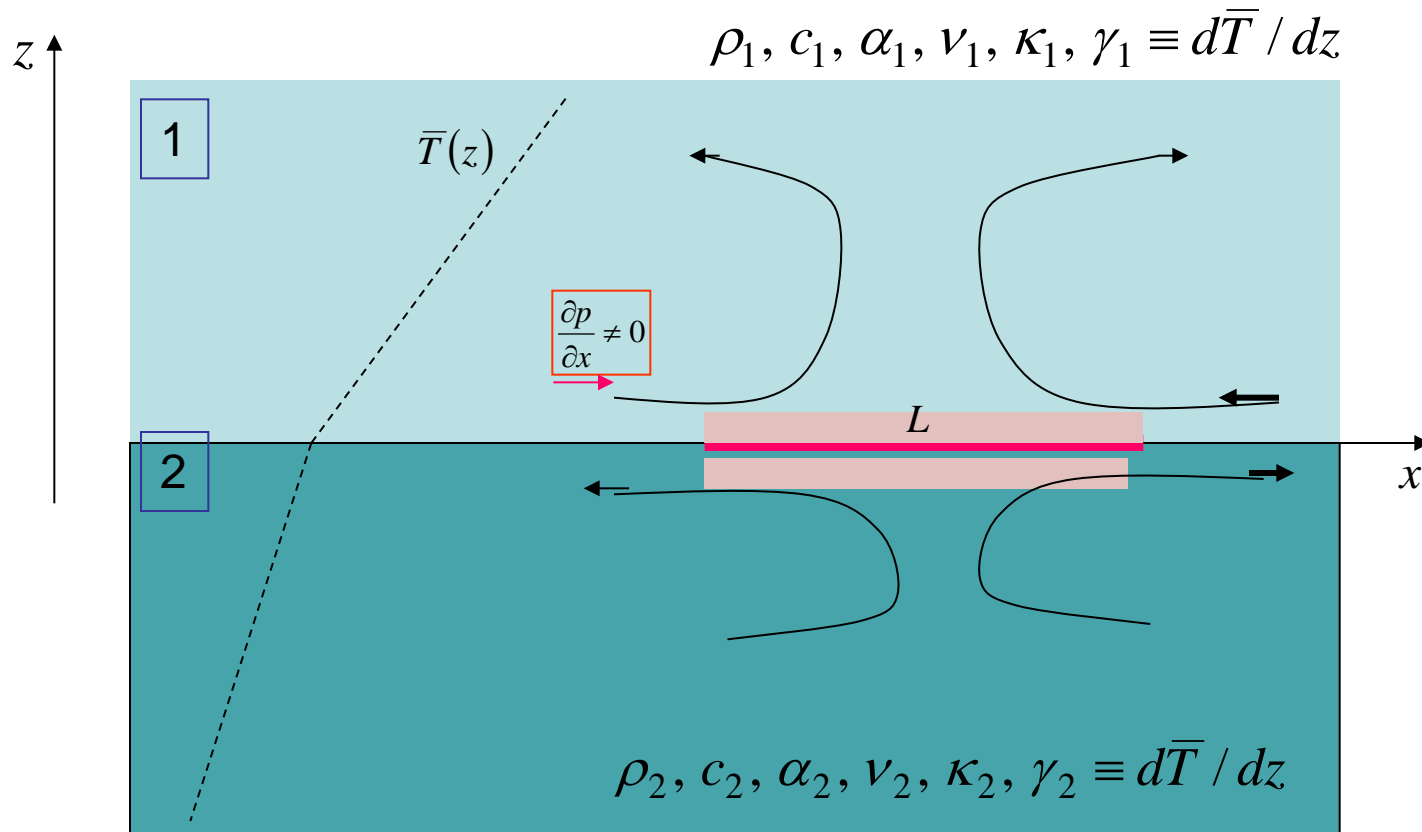
Двухслойная среда, нагреваемая сверху:



Неожиданный механизм положительной обратной связи:

Свободная конвекция в одной среде препятствует конвекции в другой – нарушает естественную «вентиляцию».

Двухслойная среда, нагреваемая сверху:



Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. О неустойчивости равновесия системы горизонтальных слоев несмешивающихся жидкостей при нагреве сверху.

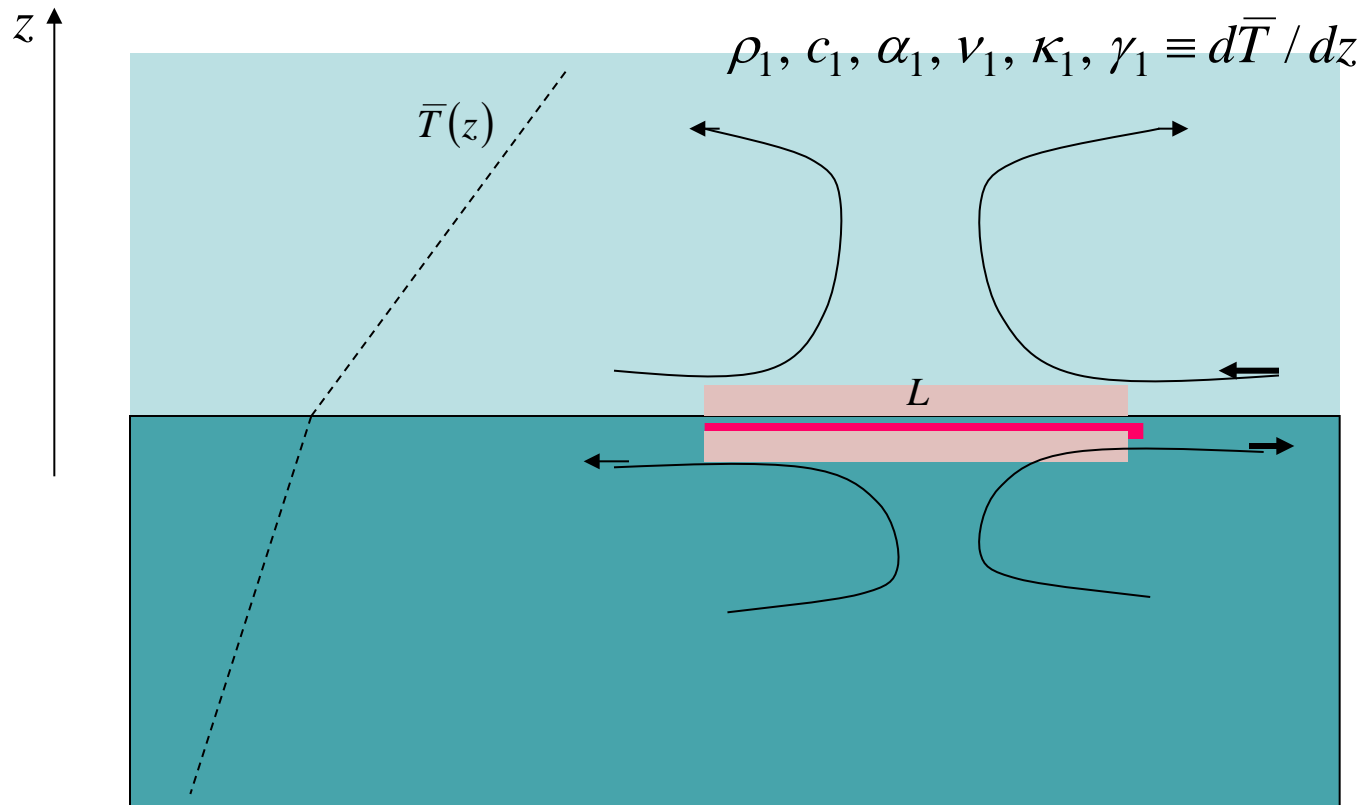
Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1980. № 6. С. 28–34.

Welander P. Convective instability in a two-layer fluid heated uniformly from above.

Tellus. 1964. V. 16, № 3. Pp. 349–358.

Perestenko O.V., Ingel L.Kh. The occurrence of moist "anticonvection" in water-air system. *J. Fluid Mech.* 1995. V. 287. Pp. 1–20.

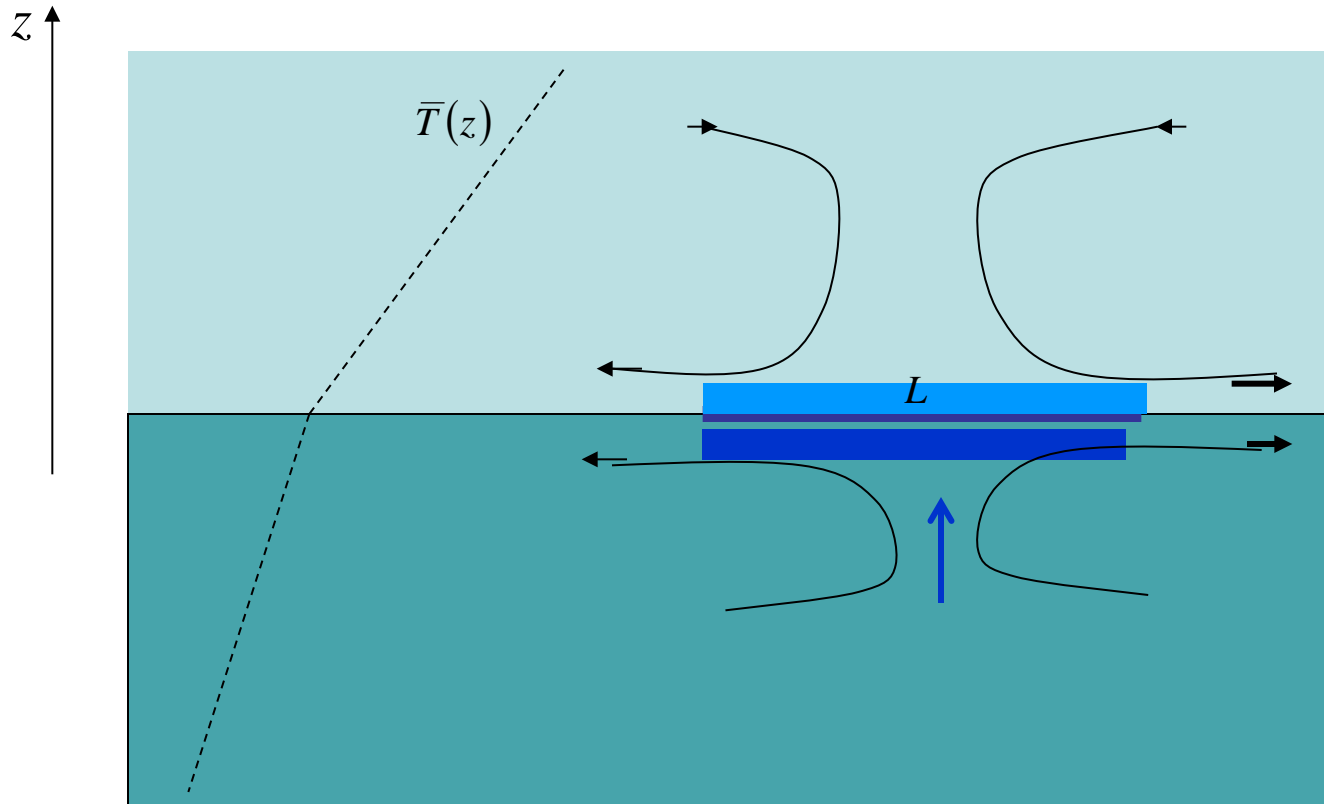
Ингель Л.Х. "Антиконвекция". *Успехи физ. наук.* 1997. Т. 167. № 7. С. 779–784.



Оценка амплитуд для нелинейной задачи

Попытка сопряжения двух задач:

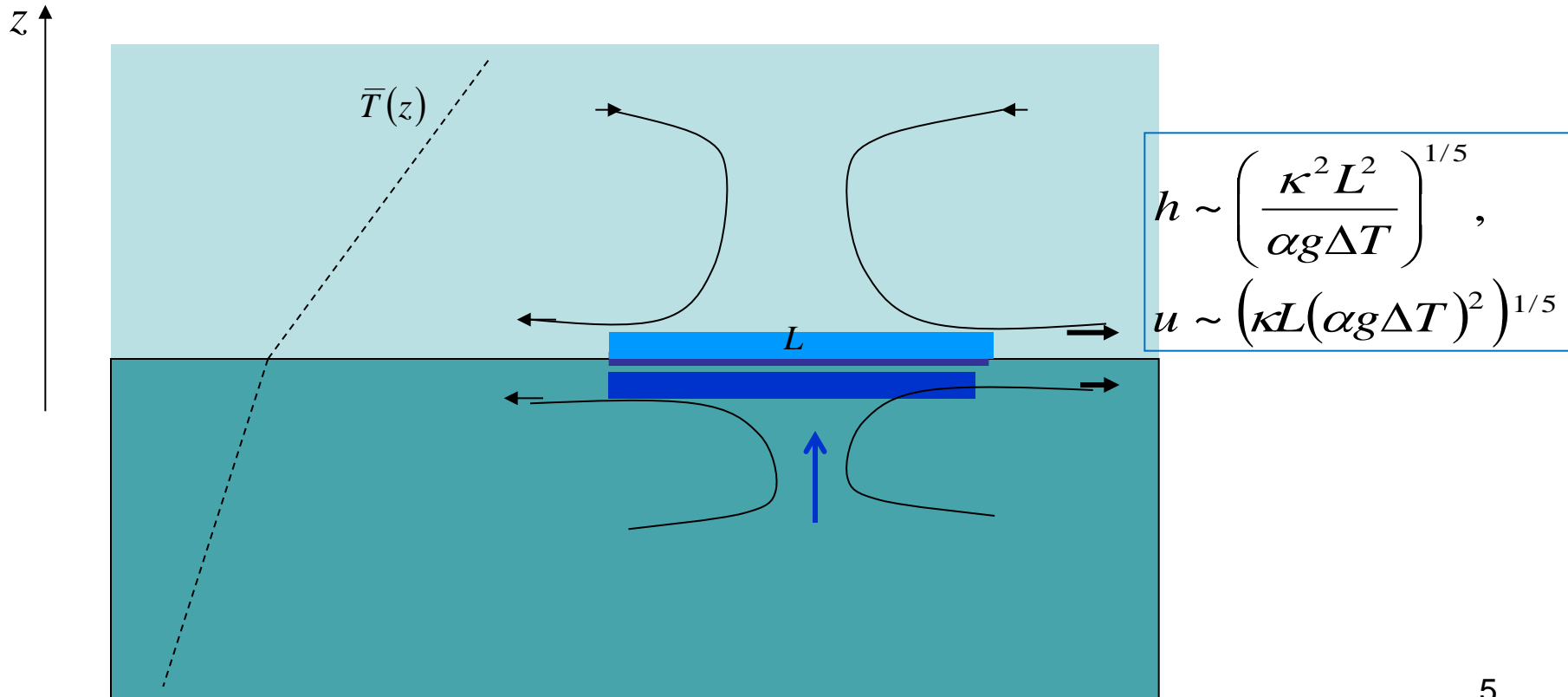
- 1) Нелинейная динамика растекания верхней среды (воздуха) над холодным пятном;
- 2) Линейный отклик нижней среды на неоднородные касательные напряжения.



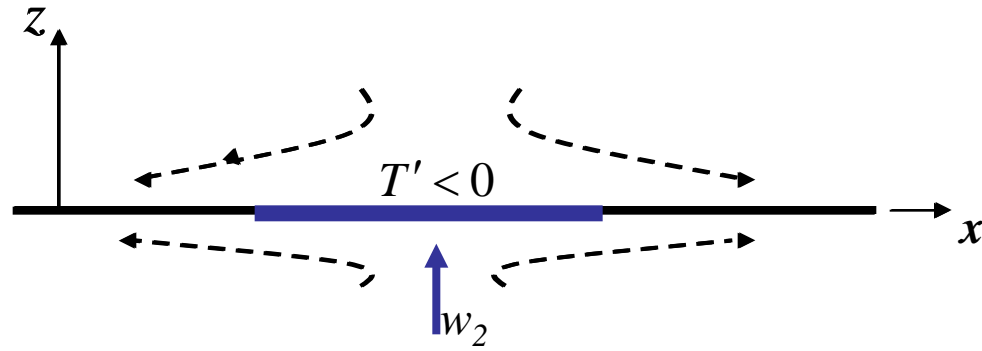
1) Нелинейная динамика растекания верхней среды (воздуха) над холодным пятном

Романов Н.П. Экспериментальное исследование свободной (нисходящей) конвекции вблизи горизонтальных холодных пятен // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2009. Т. 45. № 3. С. 356-370.

Ингель Л.Х. К расчету интенсивной нисходящей конвекции над "холодным пятном" на горизонтальной поверхности // *Инженерно-физический журнал*. 2018. Т. 91. № 1. С. 194-197.



Самоподдерживающееся «холодное пятно» у границы раздела



$$\Delta T \rightarrow \begin{cases} h_1 \sim \left(\frac{\kappa^2 L^2}{\alpha g \Delta T} \right)^{1/5} \\ u_1 \sim \left(\kappa L (\alpha g \Delta T)^2 \right)^{1/5} \end{cases} \rightarrow \tau \rightarrow$$

\rightarrow *Линейный отклик нижней среды* $\rightarrow u_2 \rightarrow w_2 \rightarrow T_2$

Результат: амплитуды самоподдерживающегося холодного пятна у границы раздела

$$T_2 \approx T_1 \approx \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{5/2} \left(\frac{\alpha_1^3 \nu_1^5}{\kappa_1} \right)^{1/2} \left(\frac{\gamma}{\nu_2 \kappa_2 \alpha_2^2} \right)^{5/6} \frac{L^{1/3}}{g^{1/6}},$$

$$u_1 \approx \frac{\rho_1 \alpha_1 \nu_1}{\rho_2} \left(\frac{g \gamma L}{\nu_2 \kappa_2 \alpha_2^2} \right)^{1/3},$$

$$h_1 \approx \left(\frac{\rho_2 \kappa_1}{\rho_1 \alpha_1 \nu_1} \right)^{1/2} \left(\frac{\nu_2 \kappa_2 \alpha_2^2}{g \gamma} \right)^{1/6} L^{1/3}, \quad h_2 \sim \left(\frac{\nu_2 \kappa_2 L^2}{\alpha_2 g \gamma} \right)^{1/6} \sim h_1 \left(\frac{\rho_1 \alpha_1 \nu_1}{\rho_2 \alpha_2 \kappa_1} \right)^{1/2}.$$

Численная оценка для системы вода-воздух

Примем значения параметров, характерные для мезомасштабных возмущений у поверхности водоема: $\rho_1 = 1 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\alpha_1 = 3.4 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$, $\alpha_2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$, $L = 10^3 \text{ м}$, $\gamma = 0.1 \text{ К/м}$. В обеих средах предполагается турбулентный обмен с эффективными коэффициентами $\nu_1 = \kappa_1 = 1 \text{ м}^2/\text{с}$, $\nu_2 = \kappa_2 = 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$. В этом случае получаем отклонение температуры порядка 1 К; скорость течений в верхней среде достигает 1 м/с; возмущения проникают в верхнюю среду до высот порядка 30 м, в нижнюю — до глубин около 4 м. Из этих оценок, в частности, видно, что динамика верхней среды существенно нелинейна: в линейной задаче возмущения в верхней среде достигали бы гораздо больших высот.

Заключение

Получены оценки амплитуд нелинейных возмущений развивающихся вблизи границы раздела в двухслойных средах, нагреваемых сверху.

Ingel L.Kh. Estimation of the amplitude of nonlinear "anticonvection" // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2020. V. 93. No. 1. P. 128-131. [DOI 10.1007/s10891-020-02099-3](https://doi.org/10.1007/s10891-020-02099-3)