

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция  
«Оптические методы исследования потоков»  
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 535.3:536.42

В. А. Арбузов<sup>1,2</sup>, Э. В. Арбузов<sup>2,3</sup>, Ю. Н. Дубнищев<sup>1,2</sup>, В. С. Бердников<sup>1</sup>,  
Н. С. Буфетов<sup>1</sup>, Е. О. Шлапакова<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 1,  
E-mail: [dubnistchev@itp.nsc.ru](mailto:dubnistchev@itp.nsc.ru)*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
«Новосибирский государственный технический университет»,  
630092, г. Новосибирск, просп. К. Маркса, 20.*

<sup>3</sup>*Институт математики им. Соболева СО РАН, Россия,  
630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 4.*

## **ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭВОЛЮЦИИ РЕЛЕЙ–БЕНАРОВСКИХ СТРУКТУР В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЛОЕ ЖИДКОСТИ**

### **АННОТАЦИЯ**

Методами гильберт–оптики и тепловидения исследована эволюция рэлей–бенаровских структур в горизонтальном слое сильно–вязкой жидкости со свободной верхней границей при различных аспектных отношениях.

**ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОТОКОВ; ГИЛЬБЕРТ–ОПТИКА, РЕЛЕЙ–БЕНАРОВСКАЯ КОНВЕКЦИЯ, ТЕРМОГРАФИЯ РБК–СТРУКТУР**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Рэлей–бенаровская конвекция (РБК) является одним из примеров самоорганизующихся структур в нелинейных диссипативных системах. В таких системах реализуется бифуркационная динамика эволюции пространственно–временной упорядоченности различных форм и масштабов. Конвекция в подогреваемом снизу горизонтальном слое жидкости со свободной верхней границей – один из классических объектов исследований [1]. Прикладное значение такого рода исследований связано с необходимостью учёта рэлей–бенаровской конвекции в технологических процессах выращивания кристаллов, в изучении атмосферы и в океанологии, в практических задачах метеорологии и экологии.

В экспериментальных исследованиях конвекционных течений широко применяются оптические методы. Многие из них основаны на визуализации РБК–структур частицами–трассерами с регистрацией динамики их распределения цифровой камерой. Такие методики требуют учёта влияния добавленных частичек на свойства жидкости и пороги устойчивости РБК–структур. Применение тепловизионных методов даёт информацию о распределениях температуры на поверхности жидкости в различных режимах РБК [2]. Эффективно используются теневые, интерференционные и проективно–растровые методы [3–5]. Интерферометрия в когерентном свете, хотя и позволяет выявлять пространственные профили РБК–структур, сложна в экспериментальной реализации. Некогерентная растровая

интерферометрия имеет существенные ограничения по чувствительности. Методы гильберт–оптики позволяют визуализировать фазовые возмущения светового поля, индуцированные поверхностью жидкости при рэлей–бенаровской конвекции, и получать информацию о пространственной конфигурации РБК–структур [6]. В этой же статье была выполнена 3D реконструкция изображений и фурье–спектров РБК–структур в видимом и тепловом диапазонах излучения.

Настоящая работа мотивирована необходимостью расширения возможностей гильберт–оптики и тепловидения на исследования зависимости эволюции РБК–структур от управляющего параметра, граничных условий и, в частности, от аспектного отношения [1]  $\Gamma = L/h$ , где  $L$  – геометрический размер поверхности,  $h$  – толщина слоя жидкости (в декартовой системе отсчёта  $\Gamma_x = L_x/h$ ,  $\Gamma_y = L_y/h$ ,  $\Gamma_x$  и  $\Gamma_y$  – аспектные отношения и, соответственно, линейные размеры поверхности по осям  $x$  и  $y$ ).

## МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Как известно, гильберт–визуализацию полей фазовой оптической плотности можно выполнять за счёт преобразования фурье–спектра оптического сигнала квадрантным пространственно–частотным фильтром с когерентно–передаточной функцией

$$H(K_x, K_y) = [e^{i\varphi} \sigma(K_x) + e^{-i\varphi} \sigma(-K_x)] \sigma(K_y) + [e^{-i\varphi} \sigma(K_x) + e^{i\varphi} \sigma(-K_x)] \sigma(-K_y) = \cos \varphi + i \sin \varphi \operatorname{sgn} K_x \operatorname{sgn} K_y, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – фазовый сдвиг;  $\sigma(\pm K_x)$  и  $\sigma(\mp K_y)$  – функции включения (Хевисайда):

$$\sigma(\pm K_x) = \frac{1}{2}(1 \pm \operatorname{sgn} K_x); \quad \sigma(\pm K_y) = \frac{1}{2}(1 \pm \operatorname{sgn} K_y); \quad K_x \text{ и } K_y \text{ – пространственные частоты в}$$

декартовой системе отсчёта. Здесь фазовый сдвиг  $\varphi$  зависит от длины волны светового поля. Поэтому в белом свете с таким фильтром выполняется полихроматическое преобразование

Фуко–Гильберта, а в случае монохроматического излучения при  $\varphi(\lambda) = \frac{\pi}{2}$  – преобразование

Гильберта.

Обратимся к случаю двумерных фазовых возмущений оптического поля, индуцированных исследуемой средой:

$$s(x, y) = e^{i\eta(\sin K_{x0}x + \sin K_{y0}y)}. \quad (2)$$

Здесь  $K_{x0}$  и  $K_{y0}$  – пространственные частоты и  $\eta$  – амплитуда фазовых возмущений.

$\eta = \eta_0 + \xi$ ,  $\eta_0 = kl$ ,  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число зондирующего поля,  $\eta_0 \sin(K_{x0}x) = 2\pi q$ ,  $\eta_0 \sin(K_{y0}y) = 2\pi q$ ,  $q = 0, 1, 2, 3, \dots$  Разложим функцию  $s(x, y)$  в двумерный ряд Фурье:

$$\begin{aligned} s(x, y) &= e^{i\eta(\sin K_{x0}x + \sin K_{y0}y)} = \sum_{\substack{n, m \\ n=-\infty \\ m=-\infty}}^{\infty} J_n(\eta) J_m(\eta) e^{i(nK_{x0}x + K_{y0}y)} = \\ &= \left\{ J_n(\eta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(\eta) \cos(2nK_{x0}x) + 2 \sum_{n=0}^{\infty} J_{2n+1}(\eta) \sin[(2n+1)K_{x0}x] \right\} \times \\ &\times \left\{ J_m(\eta) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m}(\eta) \cos(2mK_{y0}y) + 2 \sum_{m=0}^{\infty} J_{2m+1}(\eta) \sin[(2m+1)K_{y0}y] \right\}, \quad (3) \end{aligned}$$

где  $J_n(\eta)$ ,  $J_m(\eta)$  – функции Бесселя.

Подвергая (3) двумерному преобразованию Гильберта, получаем:

$$\begin{aligned} \widehat{s}_{x,y}(x,y) &= 4 \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(\eta) \sin(2nK_{x0}x) - \sum_{n=0}^{\infty} J_{2n-1}(\eta) \cos[(2n+1)K_{x0}x] \right\} \times \\ &\times \left\{ \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m}(\eta) \sin(2mK_{y0}y) - \sum_{m=0}^{\infty} J_{2m-1}(\eta) \cos[(2m+1)K_{y0}y] \right\} \approx \\ &\approx 4J_1^2(\eta) \cos(K_{x0}x) \cos(K_{y0}y). \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь мы пренебрегли членами с гармониками выше первого порядка. Как следует из (4), гильберт–фильтрация позволяет визуализировать двумерную структуру фазовых возмущений светового поля, индуцированных исследуемой средой.

В исследованиях эволюции РБК–структур использовался экспериментальный стенд и автоколлимационная система гильберт–визуализации в отраженном свете, описанные в [6]. Изучалась рэлей–бенаровская конвекция в горизонтальном слое жидкости с двумя жёсткими изотермическими границами и свободной верхней границей при стационарных и нестационарных температурных условиях и различных величинах аспектного отношения. В качестве среды, в которой формировались конвективные течения, использовалась сильно–вязкая полиэтилсилоксановая жидкость ПЭС–5, помещённая в термостатированной ванне прямоугольной формы. Нагрев нижней границы слоя осуществляется через дно ванны. Между дном и свободной поверхностью жидкости возникает разность температур, которая влияет на величину числа Рэлея:

$$Ra = \frac{\alpha g h \tau_v \Delta T}{\nu},$$

где  $\Delta T$  – разность температур между границами слоя;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha$  – объёмный коэффициент теплового расширения;  $h$  – толщина слоя;  $\nu$  – кинематическая вязкость;  $\tau_v = h^2/\chi$  – время вертикальной диффузии;  $\chi$  – температуропроводность.

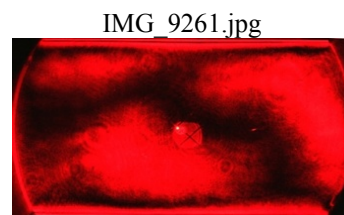
При исследовании синергетических процессов в неравновесных системах число Рэлея принято считать управляющим параметром. В рэлей–бенаровской конвекции параметром порядка является структура свободной поверхности жидкости, которая индуцирует фазовые возмущения в отражённом световом поле. В оптической системе последовательно выполняются: формирование фурье–спектра в частотной плоскости; фильтрация этого спектра биквадрантным гильберт–фильтром; обратное фурье–преобразование фурье–спектра гильберт–сопряжённого сигнала и регистрация цифровой камерой визуализированных фазовых возмущений отражённого поля, отображающих РБК–структуры на поверхности. Параллельно регистрировались тепловизионные изображения этих структур.

На рисунках 1 и 2 приведены гильберт–изображения и термограммы РБК–структур, иллюстрирующие эволюцию рэлей–бенаровской конвекции при различных аспектных отношениях:  $\Gamma_{x1} = 45,5$ ;  $\Gamma_{y1} = 22,7$ ;  $\Gamma_{x2} = 31,3$ ;  $\Gamma_{y2} = 16,1$ , соответствующих толщинам слоя:  $h_1 = 4,4$  мм;  $h_2 = 6,4$  мм и геометрическим размерам ванны:  $L_x = 200$  мм;  $L_y = 100$  мм. Гильберт–изображения РБК–структур регистрируются в поле зрения диаметром 150 мм.

На рисунках введены обозначения:  $T_0$  – температура жидкости в дополнительной кювете (для внесения температурной поправки при обработке термограмм);  $T_1$  – температура свободной поверхности слоя жидкости;  $T_2$  – температура дна ванны (задаётся термостатом);  $T_3$  – температура воздуха вблизи свободной поверхности жидкости. В первом верхнем столбце указывается порядковый номер строки в таблице и момент времени, в который фиксируется термограмма и гильберт–изображение РБК–структуры с соответствующими номерами кадров.

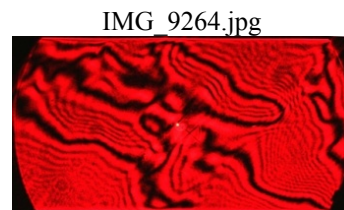
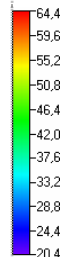
IMG\_1  
11:47  
 $T_0=25.1$   
 $T_1=24.9$   
 $T_2=24.8$   
 $T_3=25.1$

TH710003.SIT



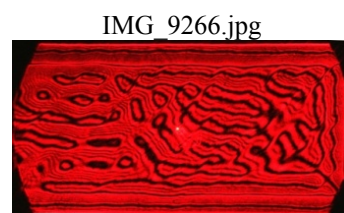
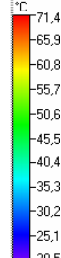
IMG\_4  
12:25  
 $T_0=28.1$   
 $T_1=59.4$   
 $T_2=80.3$   
 $T_3=34.9$   
Ra=861

TH710006.SIT



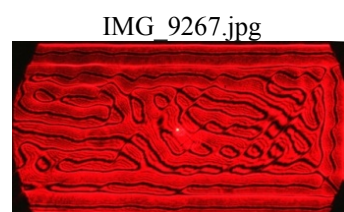
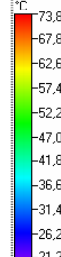
IMG\_6  
12:31  
 $T_0=29.2$   
 $T_1=65.4$   
 $T_2=86.8$   
 $T_3=34.5$   
Ra=879

TH710008.SIT



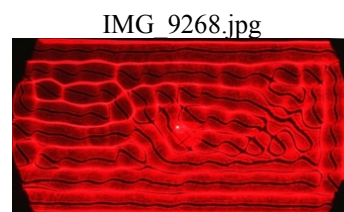
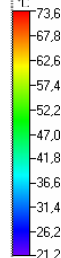
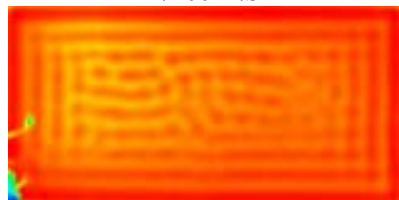
IMG\_7  
12:32  
 $T_0=29.6$   
 $T_1=67.1$   
 $T_2=87.2$   
 $T_3=40.3$   
Ra=825

TH710009.SIT



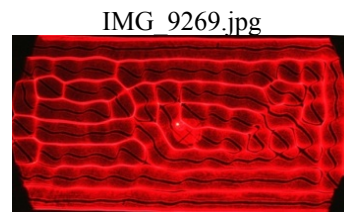
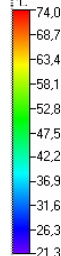
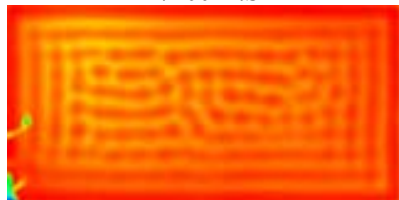
IMG\_8  
12:34  
 $T_0=31.2$   
 $T_1=67.1$   
 $T_2=87.4$   
 $T_3=39.4$   
Ra=836

TH710011.SIT



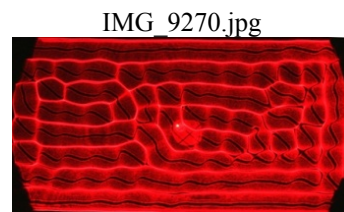
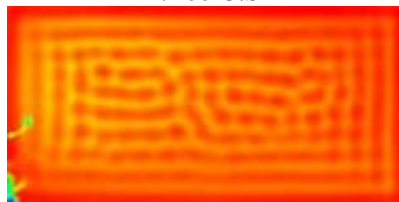
IMG\_9  
12:36  
 $T_0=30.3$   
 $T_1=68.1$   
 $T_2=88.6$   
 $T_3=42.2$   
Ra=840

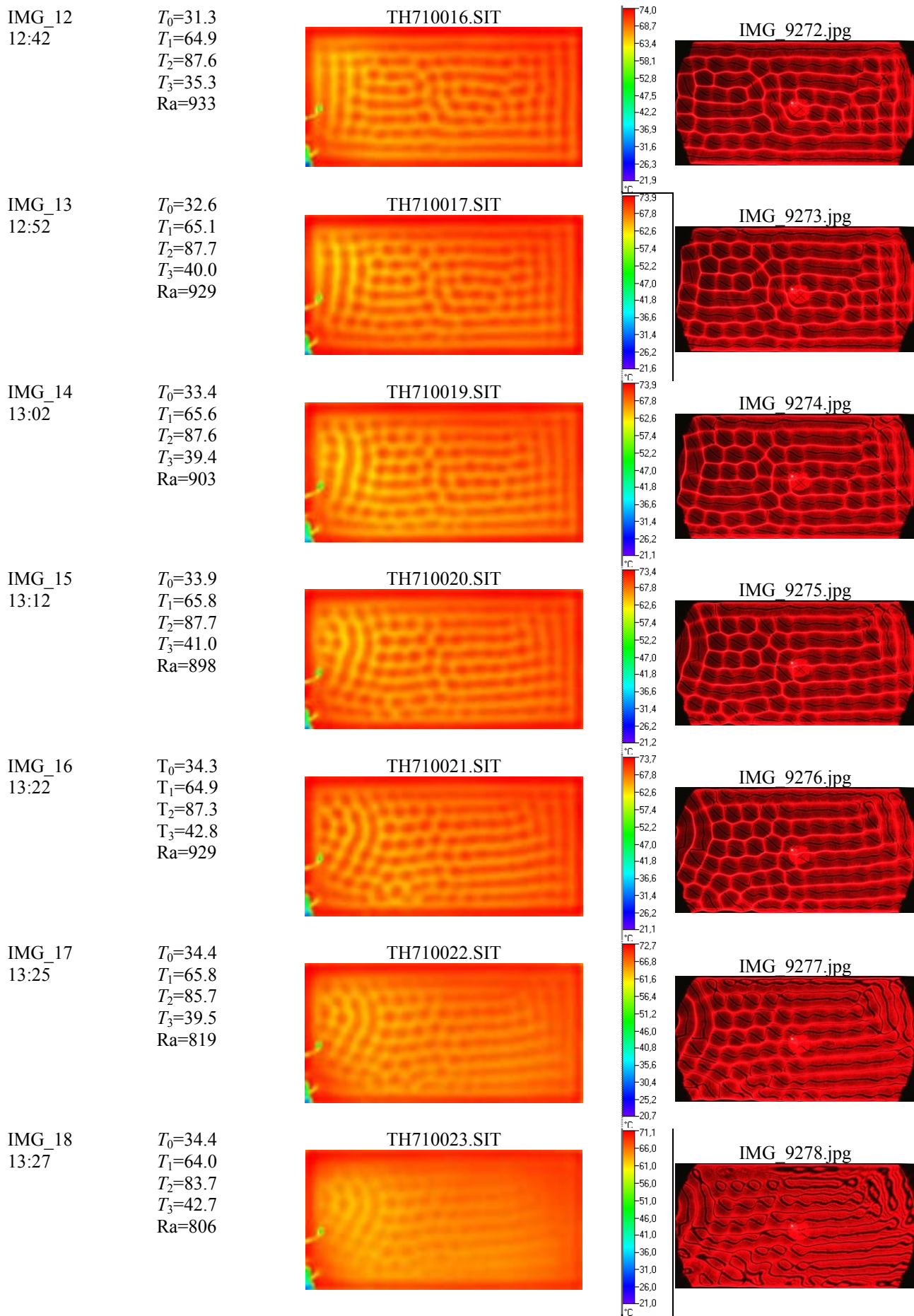
TH710012.SIT



IMG\_10  
12:38  
 $T_0=30.6$   
 $T_1=65.3$   
 $T_2=87.5$   
 $T_3=37.2$   
Ra=914

TH710013.SIT





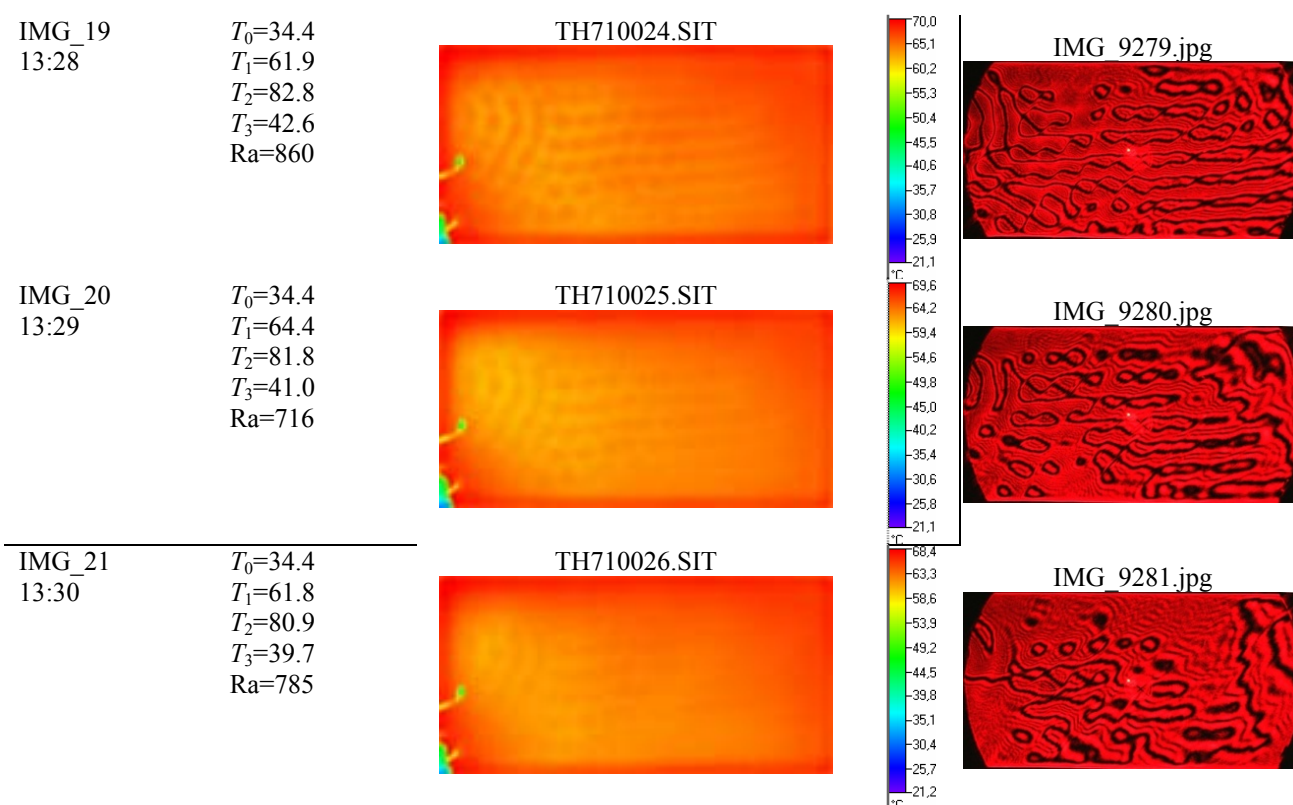
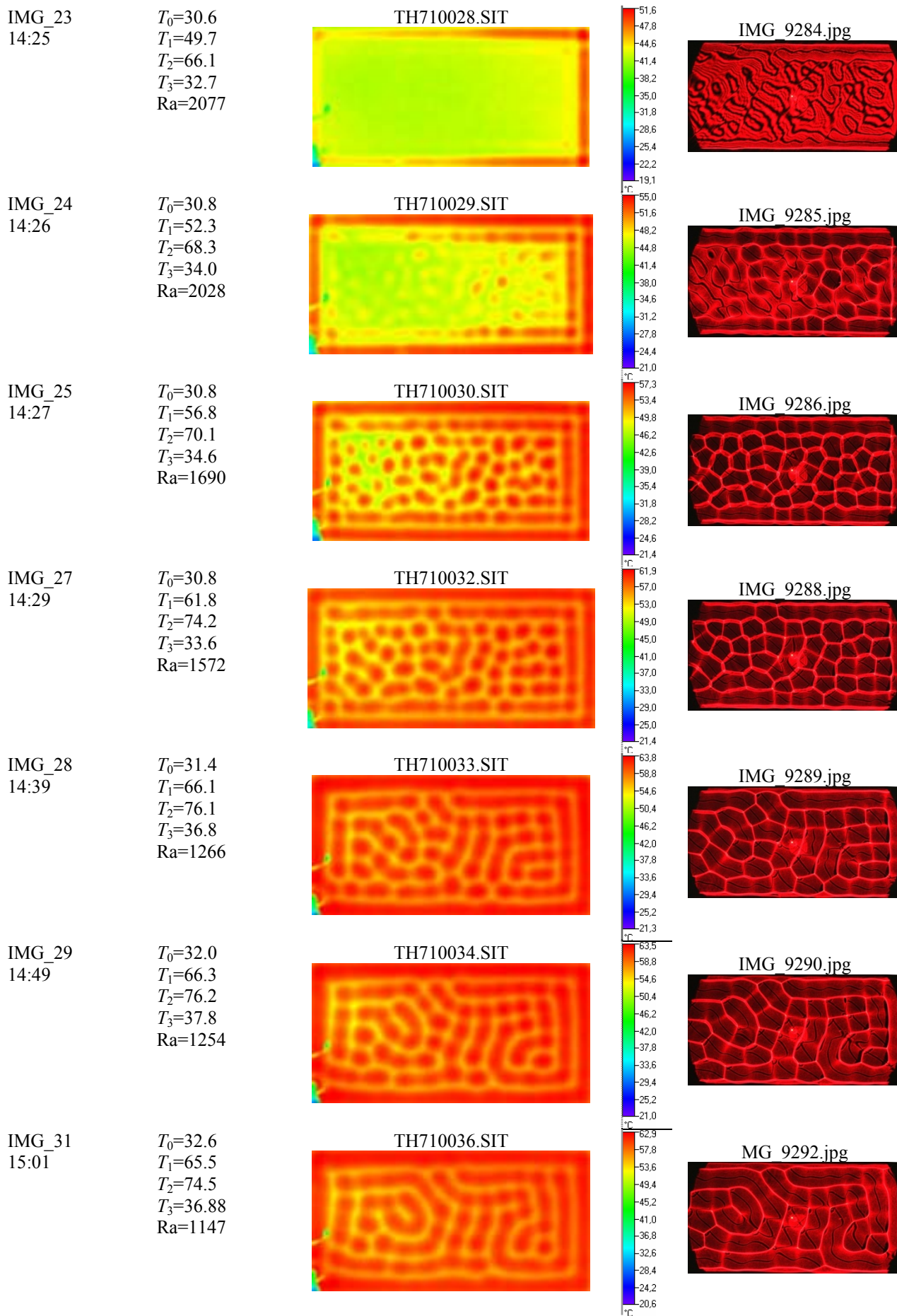


Рис. 1. Термограммы и гильберт-изображения РБК-структур ( $h_1 = 4,4$  мм,  $\Gamma_{x1} = 45,5$ ;  $\Gamma_{y1} = 22,7$ )

Рисунок 1 иллюстрирует эволюцию структур на свободной поверхности жидкости в диапазоне температур  $T_2$  25÷88°C. Хорошо прослеживается возникновение и эволюция возмущений поверхности. Начиная с термограммы TH710006 появляются пристенные возмущения. В это же время гильберт-возмущения выявляют возникновение гильберт-структур в виде валиков в пристенной области. На термограмме TH710009 уже хорошо видна валиковая РБК-структура в пристенной области и зачатки ячеистой структуры в центральной части. Ещё более чётко эти структуры проявляются на соответствующем гильберт-изображении IMG\_9267. Термограммы и гильберт-изображения в интервале температур  $T_2$  87÷88°C (диапазон значений управляющего параметра  $Ra$  819 ÷ 929) соответствуют бифуркационной стадии развития конвекционного течения, когда завершается формирование ячеисто-валиковых РБК-структур, регистрируемых в тепловом и видимом диапазонах излучения. После отключения термостата дно начинает остывать, что вызывает процесс разрушения РБК-структур, отображаемый на термограммах и гильберт-изображениях при значениях  $T_2$  ниже 87°C.

Следующий эксперимент заключался в том, что после остывания в ванну доливалась жидкость в объёме, изменившем толщину слоя до 6.4 мм, после чего включался термостат и дно начиналось нагреваться и индуцировался процесс эволюции РБК-структур при значениях аспектных отношений  $\Gamma_{x2}$  и  $\Gamma_{y2}$ , как это показано на рис. 2.





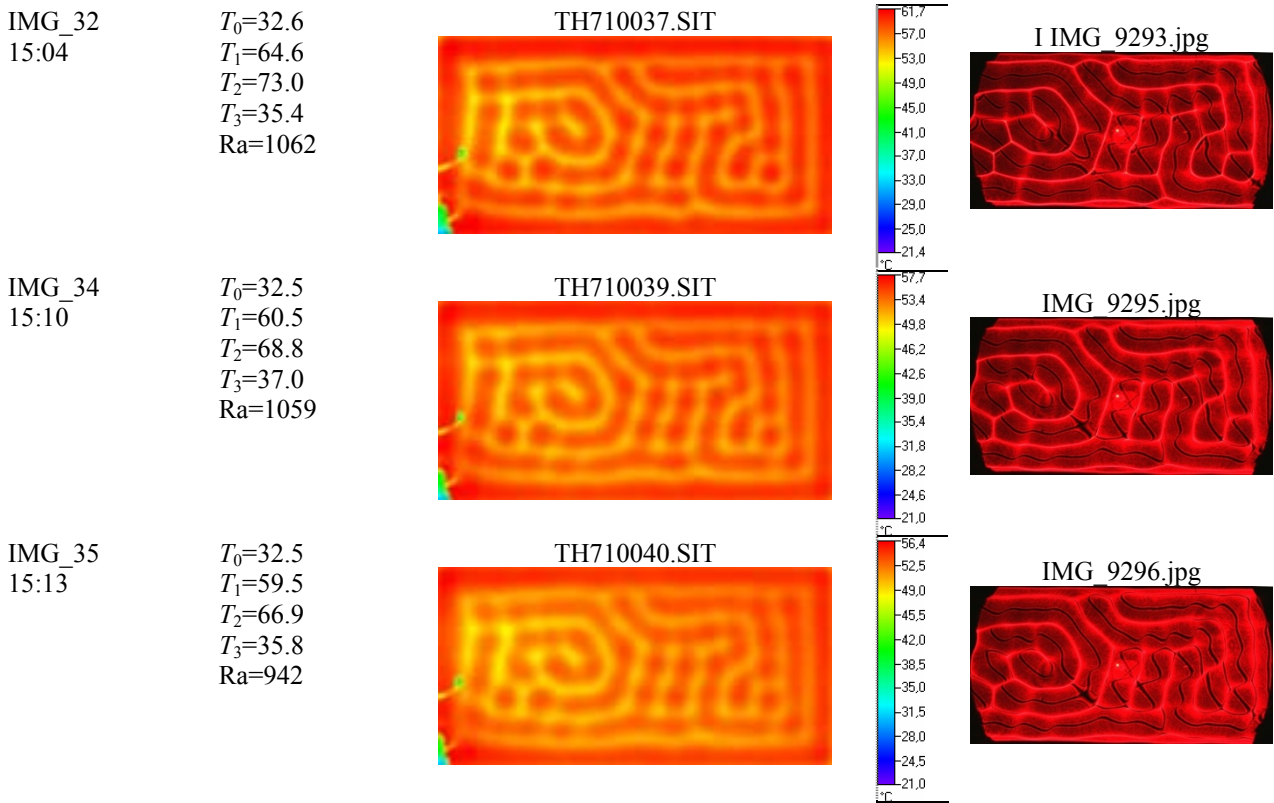
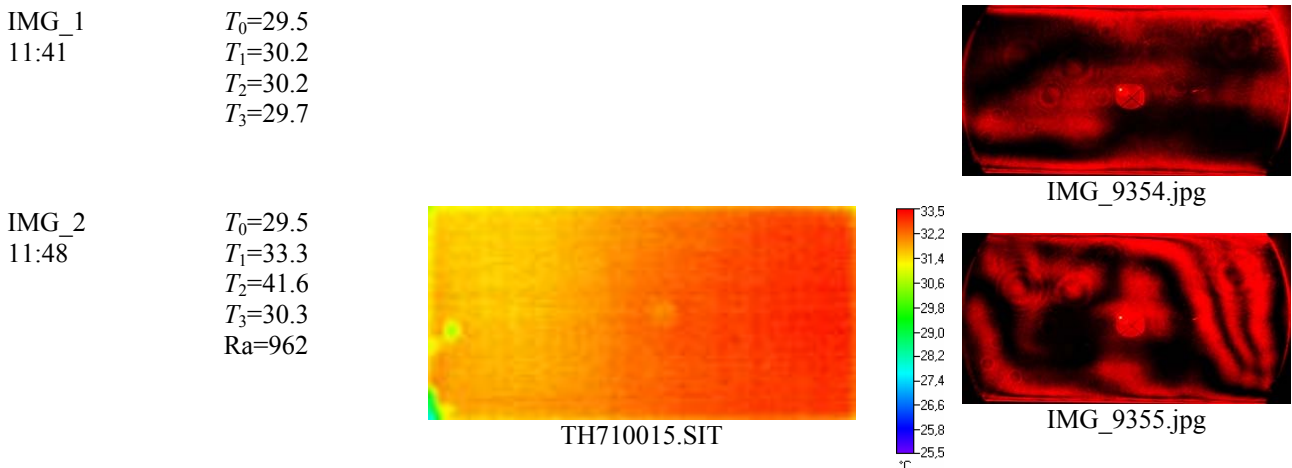


Рис. 2. Термограммы и гильберт–изображения РБК–структур ( $h_2 = 6,4$  мм,  $\Gamma_{x2} = 31,3$ ;  $\Gamma_{y1} = 15,6$ )

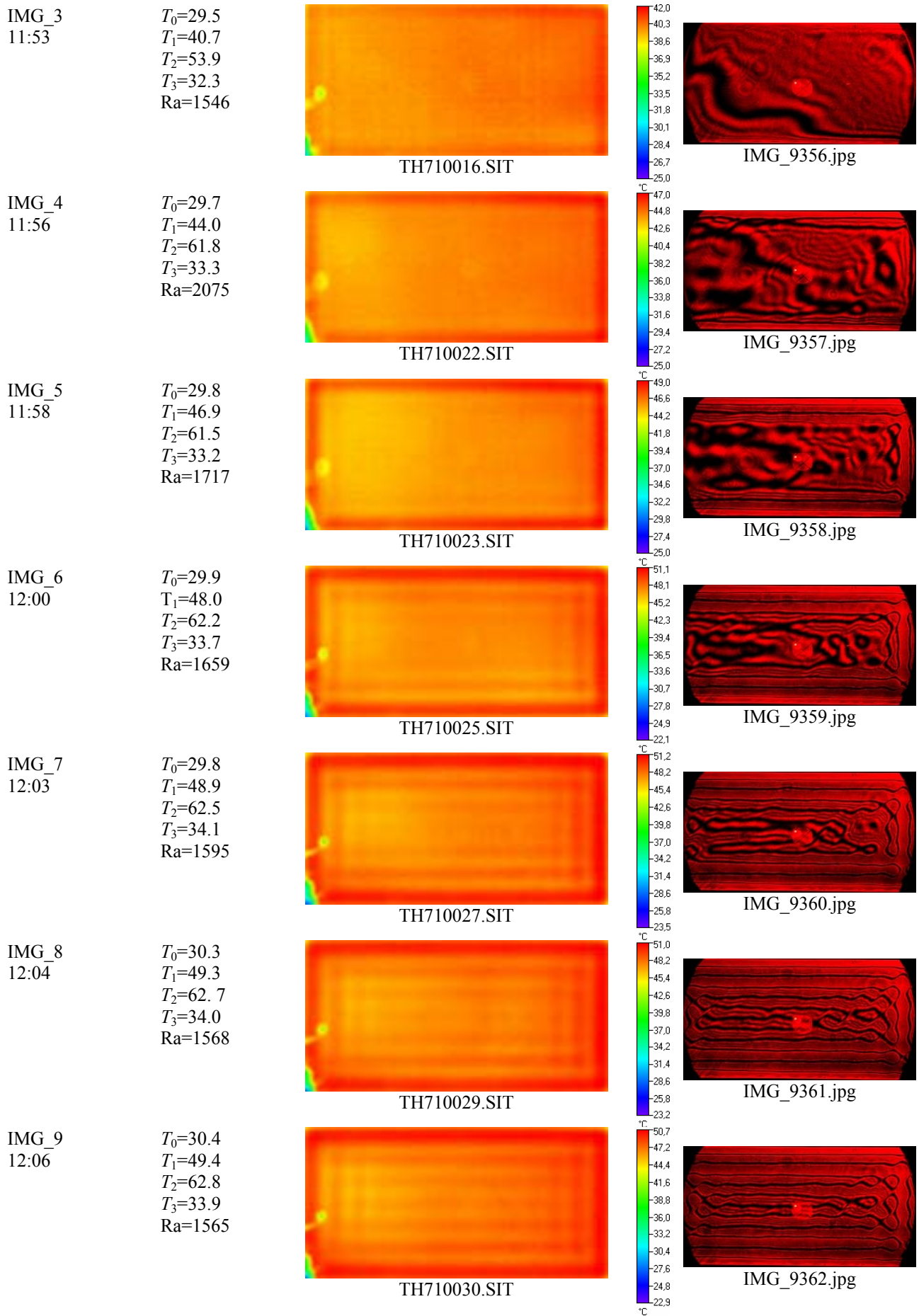
Бифуркационная стадия эволюции конвекционного течения представлена термограммами и гильберт–изображениями РБК–структур при значениях  $T_2$  в интервале  $70 \div 76^\circ\text{C}$  ( $Ra$  2000  $\div$  940).

Из сравнения рисунков 1 и 2 видно, что масштаб ячеистой структуры РБК увеличивается с уменьшением аспектного отношения, а бифуркационная стадия процесса эволюции происходит при больших значениях управляющего параметра. Кроме того, в ячеистой РБК–структуре при меньшем аспектном отношении начинают проявляться петлеобразные и спиралевидные феламентные конфигурации, что, по-видимому, связано с неоднородным нагревом дна ванны. Наконец, в эволюции исследуемого конвективного течения прослеживаются две бифуркации. При заданном аспектном отношении первая возникает раньше и имеет РБК–структуру, состоящую из валиков. Вторая бифуркация появляется при больших значениях  $T_2$  и ей соответствует РБК–структура ячеистого типа.

На рис. 3 показана эволюция РБК–структур валикового типа в слое жидкости толщиной  $h_3 = 6.2$  мм.





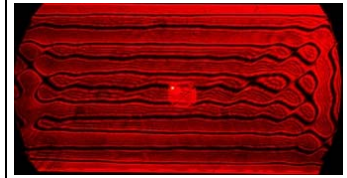
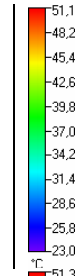


IMG\_10  
12:08

$T_0=30.6$   
 $T_1=48.3$   
 $T_2=62.8$   
 $T_3=34.6$   
 $Ra=1695$



TH710031.SIT



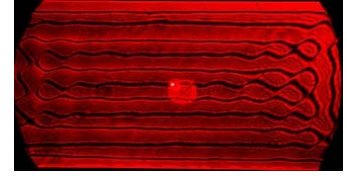
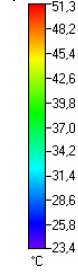
IMG\_9363.jpg

IMG\_11  
12:13

$T_0=30.9$   
 $T_1=50.1$   
 $T_2=62.9$   
 $T_3=34.4$   
 $Ra=1497$



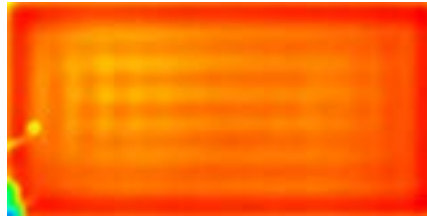
TH710032.SIT



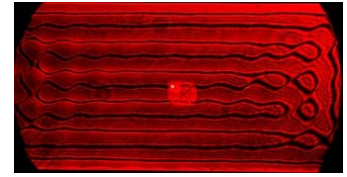
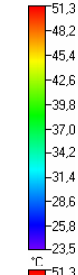
IMG\_9364.jpg

IMG\_12  
12:18

$T_0=31.$   
 $T_1=49.9$   
 $T_2=63.1$   
 $T_3=37.8$   
 $Ra=1541$



TH710033.SIT



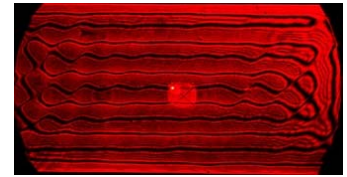
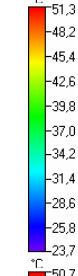
IMG\_9365.jpg

IMG\_13  
12:28

$T_0=31.8$   
 $T_1=49.6$   
 $T_2=63.2$   
 $T_3=35.4$   
 $Ra=1582$



TH710035.SIT



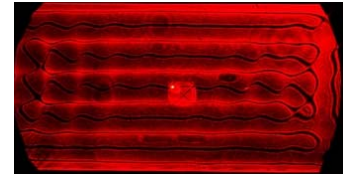
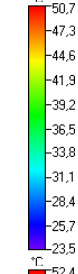
IMG\_9366.jpg

IMG\_14  
12:38

$T_0=32.1$   
 $T_1=50.0$   
 $T_2=63.2$   
 $T_3=37.5$   
 $Ra=1543$



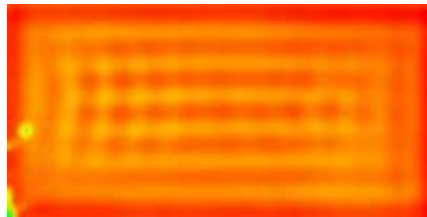
TH710037.SIT



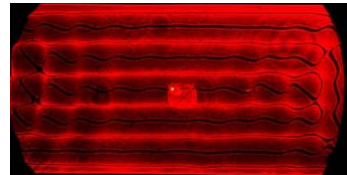
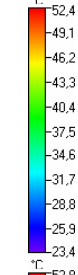
IMG\_9367.jpg

IMG\_15  
12:41

$T_0=32.2$   
 $T_1=50.5$   
 $T_2=64.9$   
 $T_3=38.2$   
 $Ra=1.681$



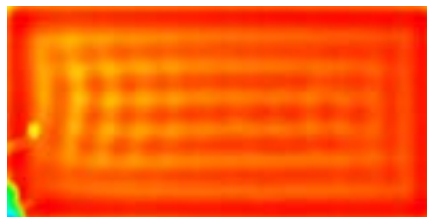
TH710039.SIT



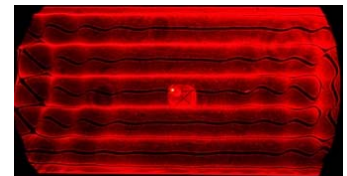
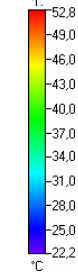
IMG\_9368.jpg

IMG\_16  
12:49

$T_0=32.3$   
 $T_1=52.2$   
 $T_2=65.1$   
 $T_3=37.6$   
 $Ra=1505$



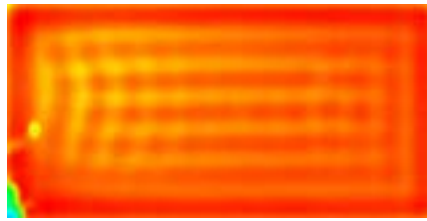
TH710040.SIT



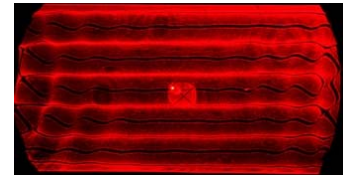
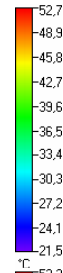
IMG\_9369.jpg

IMG\_17  
13:00

$T_0=32.6$   
 $T_1=52.1$   
 $T_2=65.2$   
 $T_3=38.3$   
 $Ra=1525$



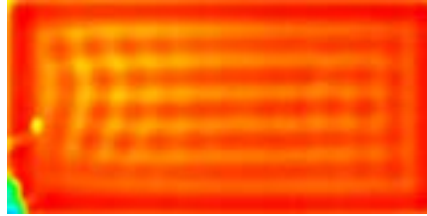
TH710041.SIT



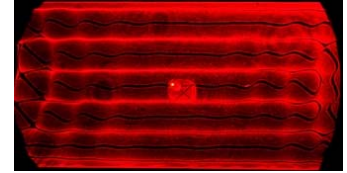
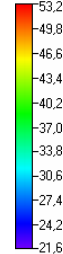
IMG\_9370.jpg

IMG\_18  
13:05

$T_0=32.7$   
 $T_1=51.9$   
 $T_2=65.8$   
 $T_3=38.3$   
 $Ra=1628$



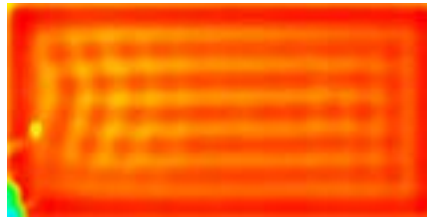
TH710042.SIT



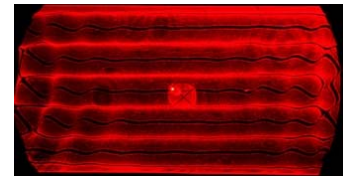
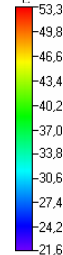
IMG\_9371.jpg

IMG\_19  
13:10

$T_0=32.7$   
 $T_1=52.5$   
 $T_2=65.8$   
 $T_3=38.6$   
 $Ra=1558$



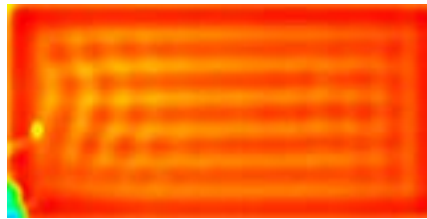
TH710043.SIT



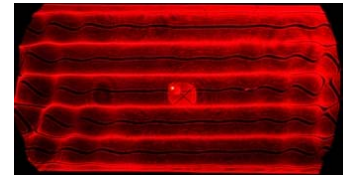
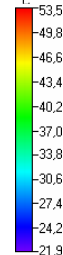
IMG\_9372.jpg

IMG\_20  
13:20

$T_0=32.7$   
 $T_1=53.2$   
 $T_2=65.8$   
 $T_3=37.2$   
 $Ra=1467$



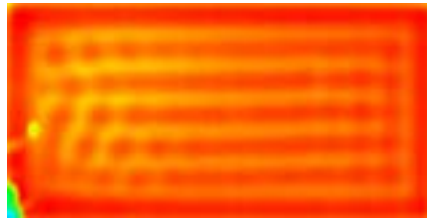
TH710044.SIT



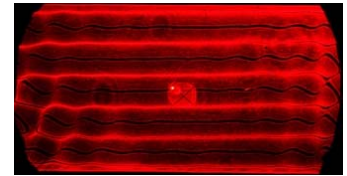
IMG\_9373.jpg

IMG\_22  
13:40

$T_0=33.0$   
 $T_1=54.2$   
 $T_2=66.5$   
 $T_3=38.6$   
 $Ra=1436$



TH710046.SIT



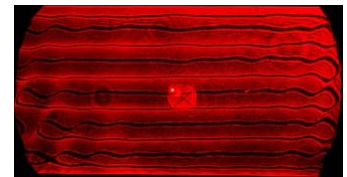
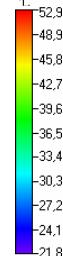
IMG\_9375.jpg

IMG\_  
13:46

$T_0=33.0$   
 $T_1=52.3$   
 $T_2=63.6$   
 $T_3=38.9$   
 $Ra=1316$



TH710047.SIT



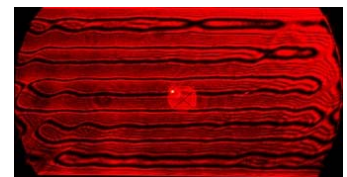
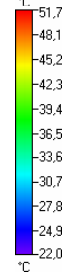
IMG\_9376.jpg

IMG\_  
13:49

$T_0=32.9$   
 $T_1=50.9$   
 $T_2=62.1$   
 $T_3=36.6$   
 $Ra=1306$



TH710048.SIT



IMG\_9377.jpg

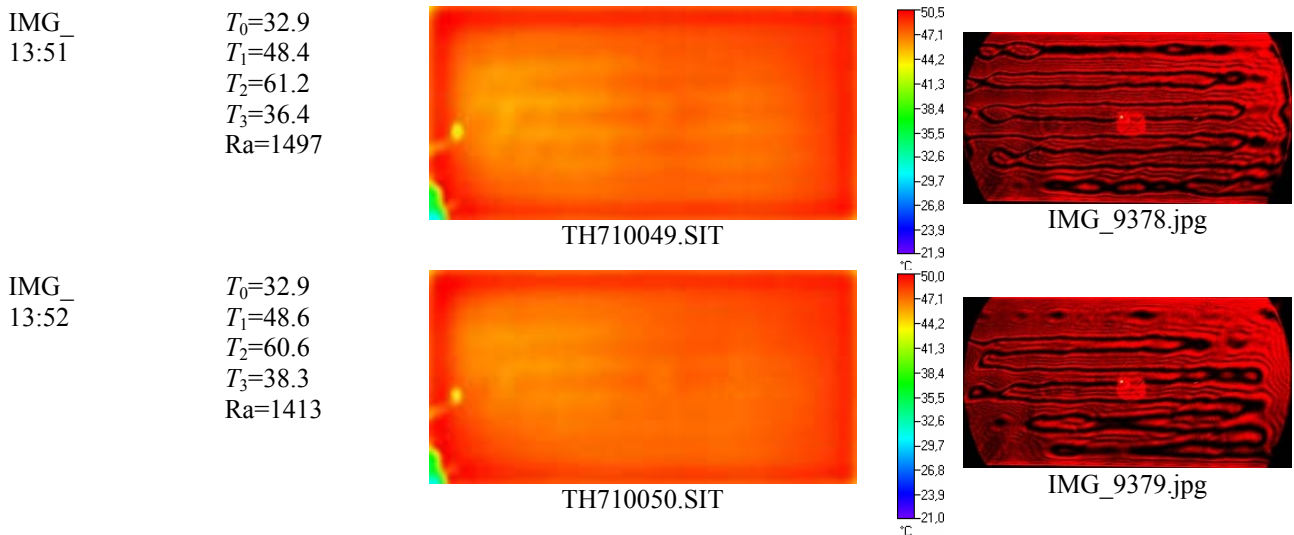


Рис. 3. Термограммы и гильберт-изображения РБК-структур ( $h_3 = 6,2$  мм,  $\Gamma_{x3} = 32,3$ ;  $\Gamma_{y3} = 16,1$ )

Исследования выполнялись в той же самой ванне с жидкостью ПЭС-5 при аспектном отношении  $\Gamma_{x3} = 32,3$ ;  $\Gamma_{y3} = 16,1$ . Как видно из последовательностей термограмм и гильберт-изображений, бифуркационная стадия формирования РБК-структур валикового типа (первая бифуркация) приходится на диапазон значений  $T_2$   $62 \div 66^{\circ}C$  ( $Ra$   $1700 \div 1300$ ).

На рис. 4 показан результат реконструкции гильберт-изображения РБК-структуры, выполненной путём гильберт-преобразования термограммы TH710032.SIT, взятой из рис. 3. Для сравнения на рис. 4 приведено соответствующее гильберт-изображение РБК-структуры, полученное методами гильберт-оптики.

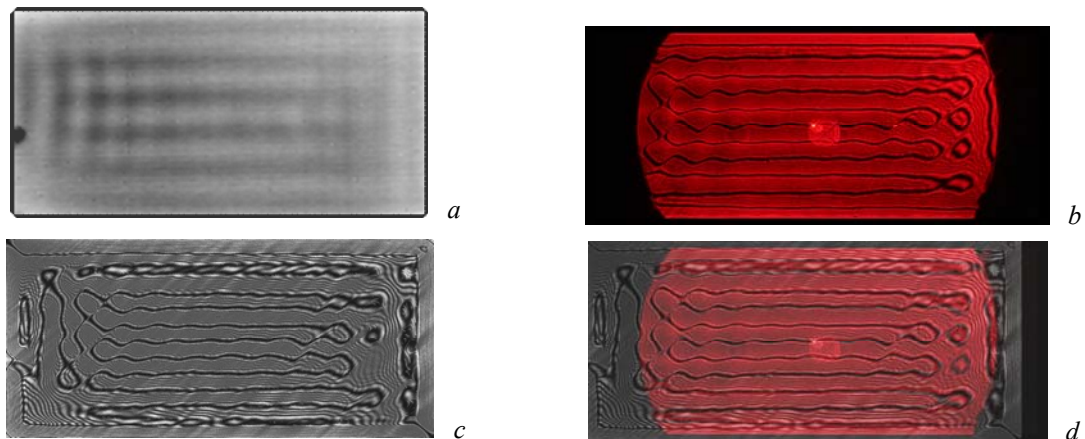


Рис. 4. Гильберт-образ РБК-структуры, реконструированный из термограммы: а – термограмма; б – реконструированный гильберт-образ термограммы; с – гильберт-изображение РБК-структуры; d – гильберт-изображение РБК-структуры, наложенное на гильберт-образ соответствующей термограммы

Как видно из рис. 4, гильберт-образ термограммы практически совпадает с гильберт-изображением РБК-структуры.

Рис. 5 иллюстрирует влияние геометрических граничных условий на РБК-структуру.

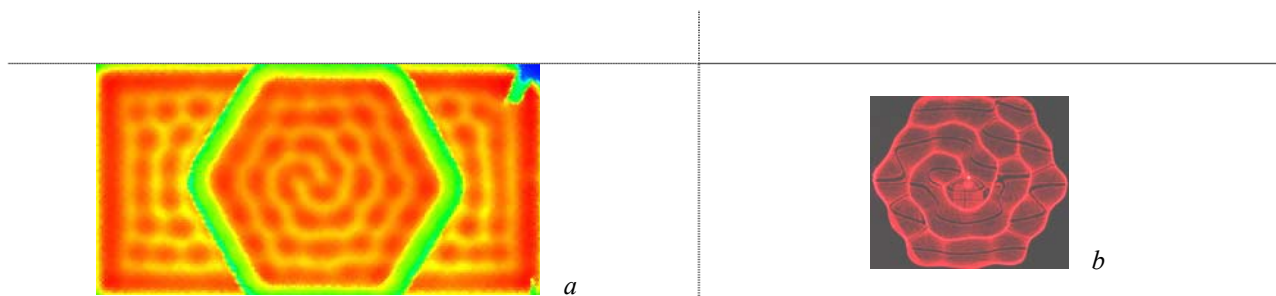


Рис. 5. Термограмма и гильберт–изображение РБК–структуры при геометрических граничных условиях, сконфигурированных в виде шестиугольника: а – термограмма РБК–структуры в области, ограниченной контуром в виде шестиугольника; б – гильберт–изображение РБК–структуры внутри контура

Из рис. 5 видно, что геометрические граничные условия в виде шестиугольника, оконтуривающего область существования конвекционного течения, определяют на бифуркационной стадии эволюции существование ячеистой РБК–структуры с правильной шестиугольной формой ячеек. В центральной области последовательное расположение шестиугольных ячеек образует спиралевидную структуру.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гильберт–фильтрация фазовых возмущений светового поля, индуцированных исследуемой средой, позволяет визуализировать фазовые структуры произвольной амплитуды. Методами гильберт–оптики в отражённом свете и тепловидения исследована эволюция рэлей–бенаровских структур на поверхности горизонтального слоя жидкости ПЭС–5 с двумя жёсткими изотермическими границами и свободной верхней границей при стационарных и нестационарных температурных условиях и различных аспектных отношениях. Установлено соответствие фазовых структур, визуализированных в тепловом и видимом диапазонах излучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гетлинг А. В. Конвекция Рэля–Бенара. М.: Эдиторная УРСС, 1999, 248 с.
2. Бердников В. С., Гришков В. А., Ковалевский К. Ю., Марков В. А.. Тепловизионные исследования ламинарно–турбулентного перехода в рэлей–бенаровской конвекции // Автометрия. – 2012. – Т. 48, № 3. – С. 111–120.
3. Rahal S., Cerisier P., Azuma H. Bernard–Maragoni convection in a small circular container: influence of the Diot and Prandtl numbers an pattern dynamics and free surface deformation // Experiment in Fluids. (2007). V. 43, p. 547–554.
4. Su X., Chen W.. Fourier transform profilometry: a review // Opt. Lasers Eng. (2001), v. 35, p. 263–303.
5. Chen L., Quan C.. Fringe projection profilometry with nonparallel illumination: a last–squares approach // Opt. Lett. (2005), v. 30, p. 2101–2103.
6. Арбузов В. А., Арбузов Э. В., Буфетов Н. С., Шлапакова Е. О. Гильберт–диагностика рэлей–бенаровской конвекции в жидкости // Автометрия. – 2012. – 48, № 3. – С. 61–67.

V. A. Arbuzov<sup>1,2</sup>, E. V. Arbuzov<sup>2,3</sup>, Yu. N. Dubnishchev<sup>1,2</sup>, V. S. Berdnikov<sup>1</sup>, N. S. Bufetov<sup>1</sup>,  
E. O. Shlapakova<sup>2</sup>.

## OPTICAL DIAGNOSTICS OF THE RAYLEIGH–BENARD STRUCTURES AT CONVECTION IN THE HORIZONTAL LAYER OF LIQUID

<sup>1</sup>*Institute of thermophysics  
Siberian branch of the Russian academy of sciences,  
Russia 630090, Novosibirsk, an avenue of Academician Lavrentyev, 1.*

*E-mail: [dubnistchev@itp.nsc.ru](mailto:dubnistchev@itp.nsc.ru)  
<sup>2</sup> Novosibirsk state technical university  
Russia 630092, Novosibirsk, K. Marx's avenue, 20.*

<sup>3</sup>*Institute of mathematics  
Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Russia,  
630090, Novosibirsk, an avenue of Academician Koptjuga, 4.*

*The evolution of the Rayleigh–Benard structures on the free surface of the horizontal layer of the strong–viscous liquid at various aspect ratios was investigated using methods of Hilbert–optics and thermovision.*

OPTICAL DIAGNOSTICS OF FLOWS, HILBERT–OPTICS, RAYLEIGH–BENARD  
CONVECTION, RBC STRUCTURES