



The results of numerical modeling of heating operation of furnace of the metal high-speed jet heating are given.

И. А. ТРУСОВА, П. Э. РАТНИКОВ, Д. В. МЕНДЕЛЕВ, БНТУ

УДК 621.331:536.33

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ СТРУЙНОГО ТИПА

Одним из направлений интенсификации нагрева металла, получившим в последнее время все большее распространение, является применение печей скоростного нагрева с использованием современных струйно-факельных технологий сжигания топлива (горелочные устройства с высокой скоростью истечения продуктов сгорания 100 м/с и выше) [1]. Теплообменные процессы в таких печах характеризуются примерным равенством лучистой и конвективной составляющих теплового потока, что требует разработки соответствующих методик расчета.

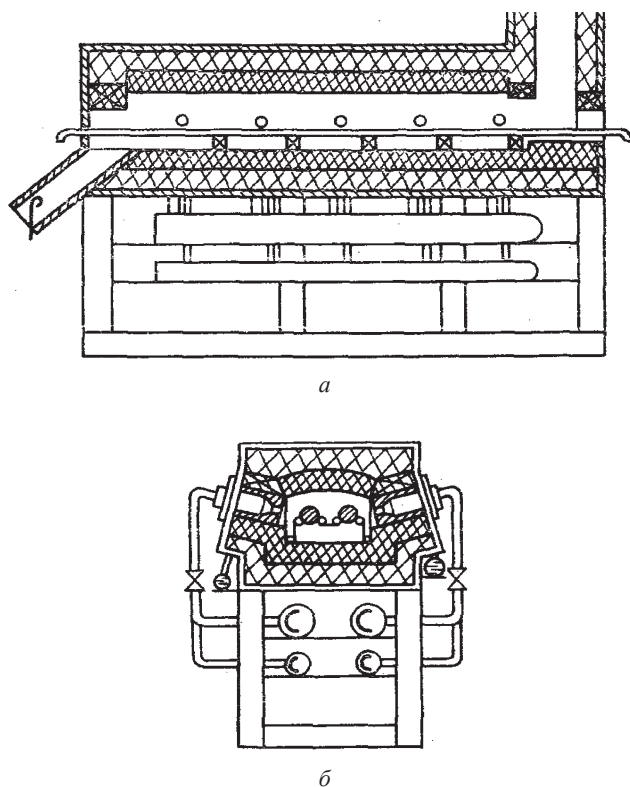


Рис. 1. Схема печи скоростного струйного нагрева стальных заготовок производительностью 1000 кг/ч: а – продольный разрез; б – поперечный разрез

В данной статье приводятся результаты численного моделирования тепловой работы печи высокоскоростного струйного нагрева металла. Объектом моделирования служила двухручьева печь проекта ВНИПИ «Теплопроект» [2], предназначенная для нагрева заготовок диаметром 80–100 мм и длиной 100–220 мм из углеродистых сталей. Схема печи приведена на рис. 1.

В качестве горелочных устройств выбраны скоростные короткофакельные горелки ВІG 100, имеющие следующие основные характеристики: тепловая мощность горелки – 16–160 кВт; скорость истечения дымовых газов – 105 м/с; тип керамической насадки – В065; тип горелки – R; диаметр выходного сечения горелки – 104 мм; диаметр выходного сечения керамической насадки – 65 мм; длина керамической насадки – 300 мм; расстояние от головки горелки (место смешивания воздуха и природного газа) до выходного сечения керамической насадки – 265 мм; давление воздуха – 30 мбар, природного газа – 30 мбар. Схема горелки приведена на рис. 2, а схема моделирования насадки горелки с использованием метода конечных элементов – на рис. 3.

С целью определения полей скоростей и давлений в насадке горелки и на выходе из нее выполнены расчеты по моделированию работы высокоскоростной короткофакельной горелки ВІG 100.

Результаты исследований моделирования работы скоростных струйных горелок положены в ос-

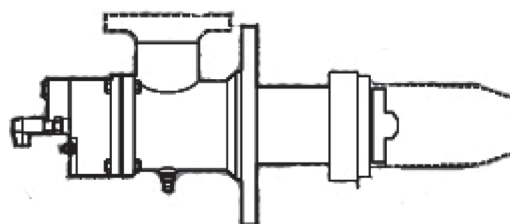


Рис. 2. Схема скоростной короткофакельной горелки ВІG 100

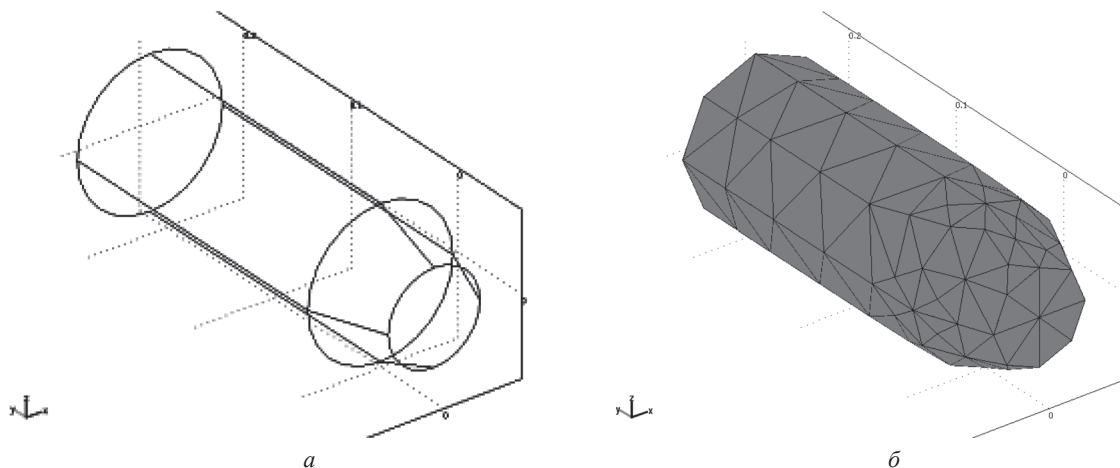


Рис. 3. Моделирование насадки горелки (от головки горелки до конца керамической насадки) методом конечных элементов: *а* – чертеж насадки горелки BIG 100; *б* – представление насадки в виде конечных элементов

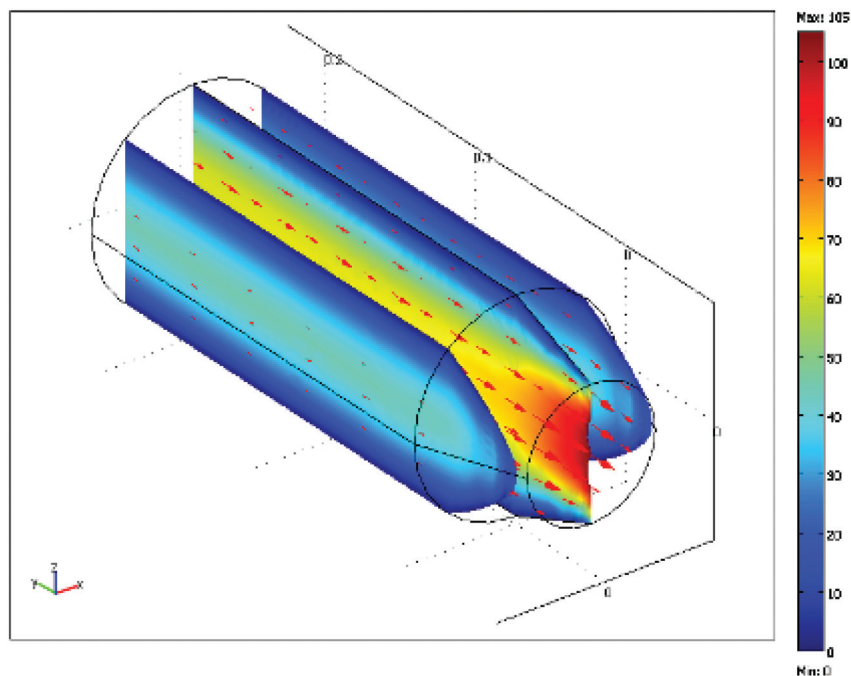


Рис. 4. Распределение поля скоростей продуктов сгорания в насадке горелки и на выходе из нее

нову создания расчетной схемы печи скоростного струйного нагрева металла (рис. 6–9).

При моделировании тепловой работы печи скоростного струйного нагрева рабочее пространство печи было разбито на 10 расчетных участков (длина расчетного участка совпадает с длиной заготовки), на каждом из которых определяли допустимые плотности тепловых потоков на металл исходя из условия термической прочности заготовок [3] и соответствующие им мощности горелочных устройств. Схема расчетных участков показана на рис. 10.

На первом этапе решена задача по определению распределения скоростей продуктов сгорания и температур кладки и дымовых газов в рабочем пространстве печи в установившемся режиме работы печи при работе всех горелочных устройств

на максимальной мощности (160 кВт). При этом принимали поверхности заготовок теплоизолированными. В результате определено поле скоростей в рабочем пространстве печи (рис. 11) и рассчитаны максимальные установившиеся температуры газов и кладки (рис. 12).

На рис. 13 показаны распределения падающих тепловых потоков на поверхности заготовок (кВт/м^2) в каждой расчетной зоне при работе всех горелок на максимальной мощности 160 кВт.

При сравнении полученных результатов (рис. 13) и данных работы [3] видно, что в любой момент времени падающие тепловые потоки на металл превышают максимально допустимые значения.

В дальнейшем подобные расчеты по определению температур дымовых газов рабочего про-

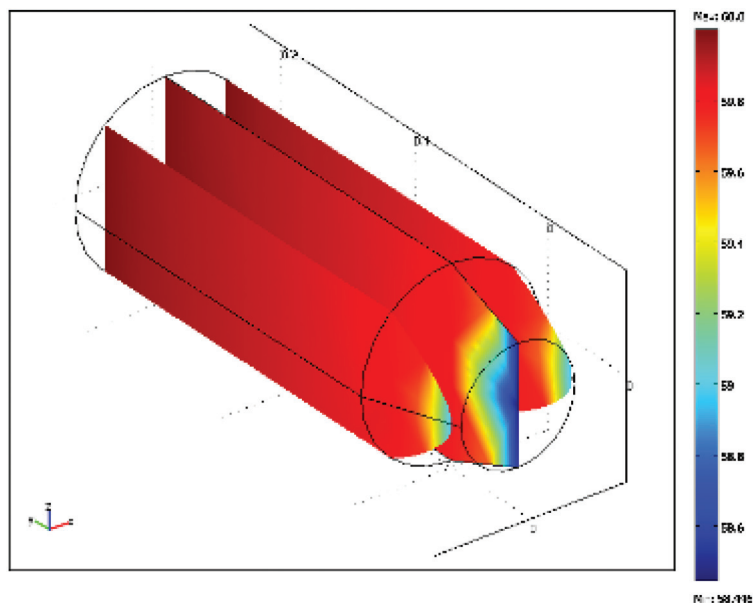


Рис. 5. Распределение поля давлений в насадке горелки и на выходе из нее

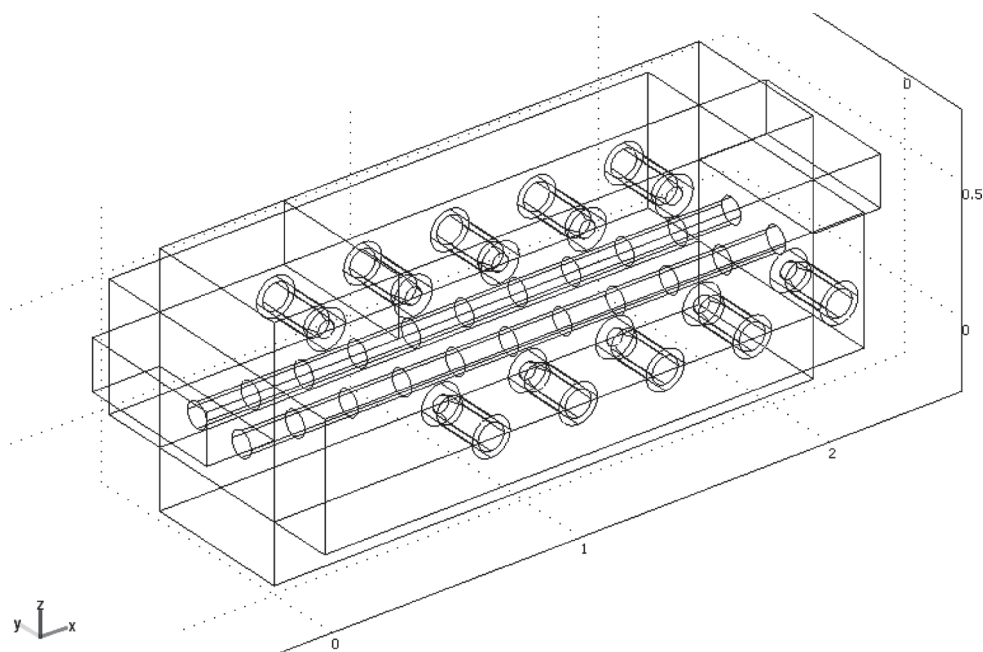


Рис. 6. Трехмерный вид нагревательной печи скоростного струйного нагрева металла

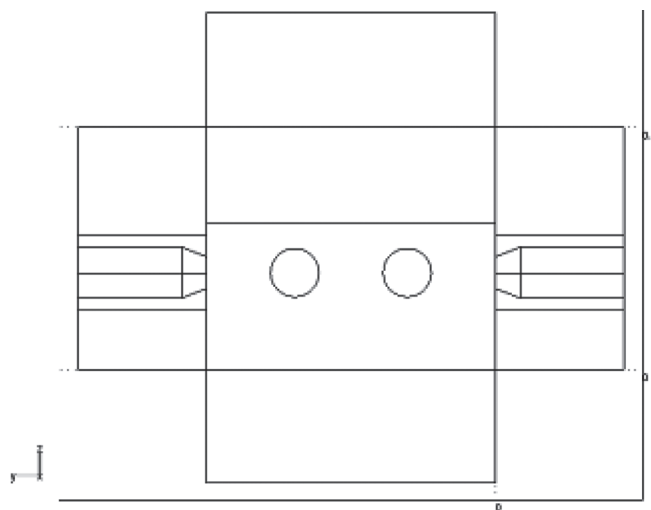


Рис. 7. Чертеж нагревательной печи скоростного струйного нагрева металла (горцевой разрез)

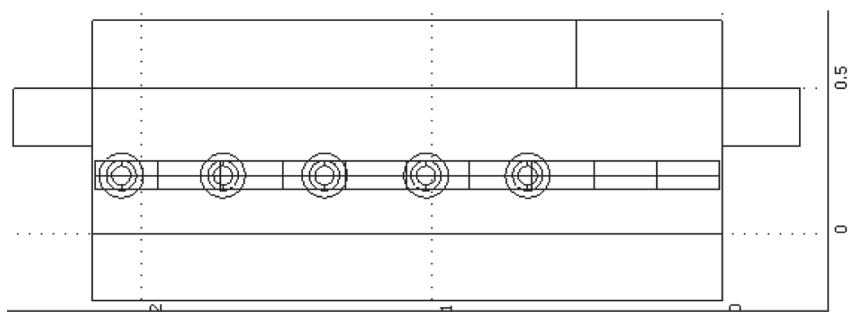


Рис. 8. Чертеж нагревательной печи скоростного струйного нагрева металла (продольный разрез)

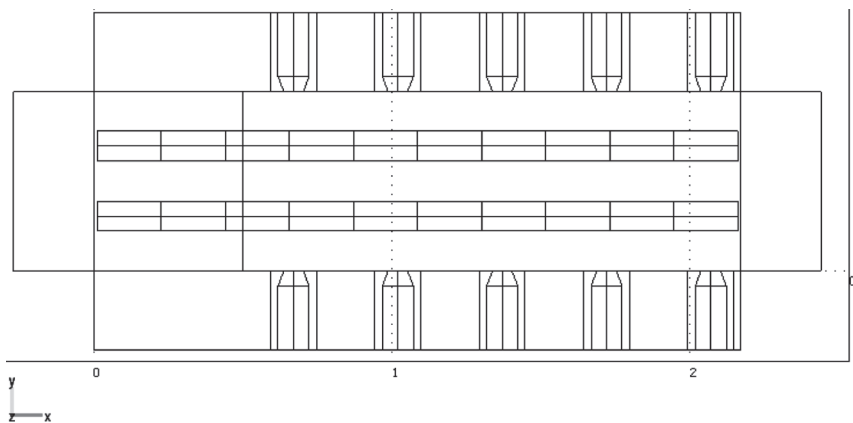


Рис. 9. Чертеж нагревательной печи скоростного струйного нагрева металла (вид сверху)

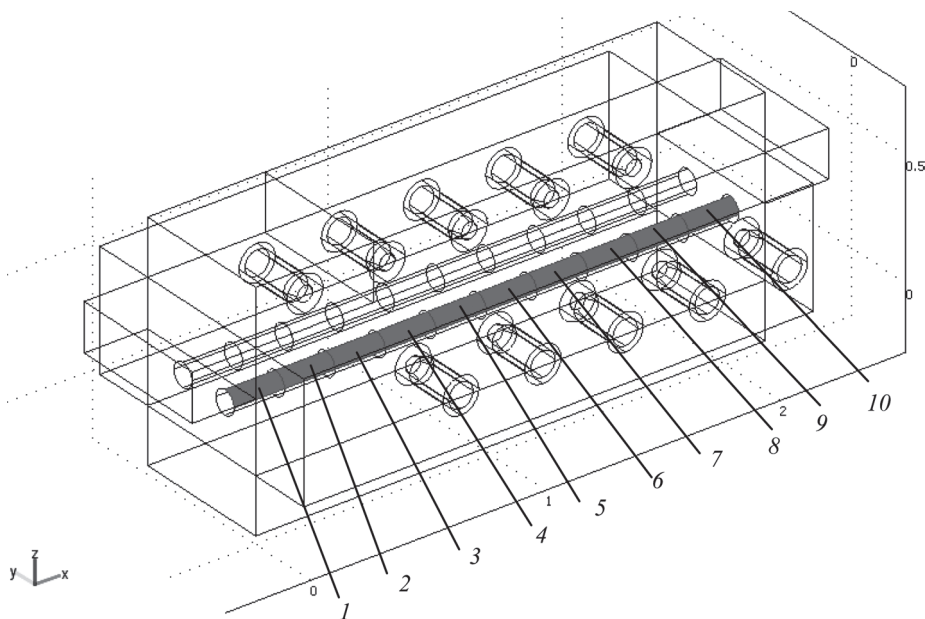


Рис. 10. Схема расчетных участков для определения тепловых потоков и мощностей горелок: 1–10 – расчетные поверхности

странства и кладки, а также величин падающих тепловых потоков на металл в расчетных точках были проведены для различных мощностей горелок. Ниже приведены результаты моделирования горелочных устройств при следующих значениях мощности: 16, 80 и 100 кВт.

На рис. 14 представлены установившиеся температуры продуктов сгорания и кладки при работе всех горелок мощностью 16 кВт, а на рис. 15 – зна-

чения падающих тепловых потоков на поверхность заготовок в расчетных точках (поверхности обезражены). Как видно из рис. 14, максимальная температура греющей среды при этом не превышает 300 °С.

На рис. 16 приведены установившиеся температуры продуктов сгорания и кладки при работе всех горелок мощностью 80 кВт, а на рис. 17 – значения падающих тепловых потоков на поверх-

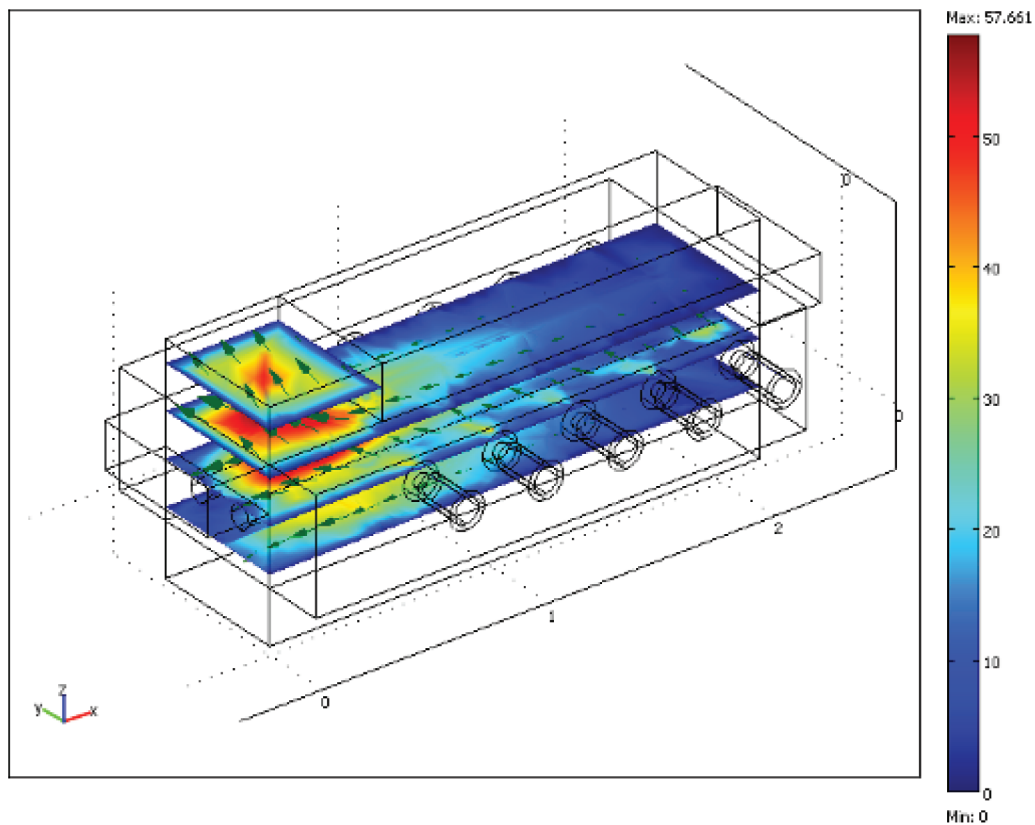


Рис. 11. Установившийся режим движения продуктов сгорания (поле скоростей) при работе всех горелок на максимальной мощности 160 кВт

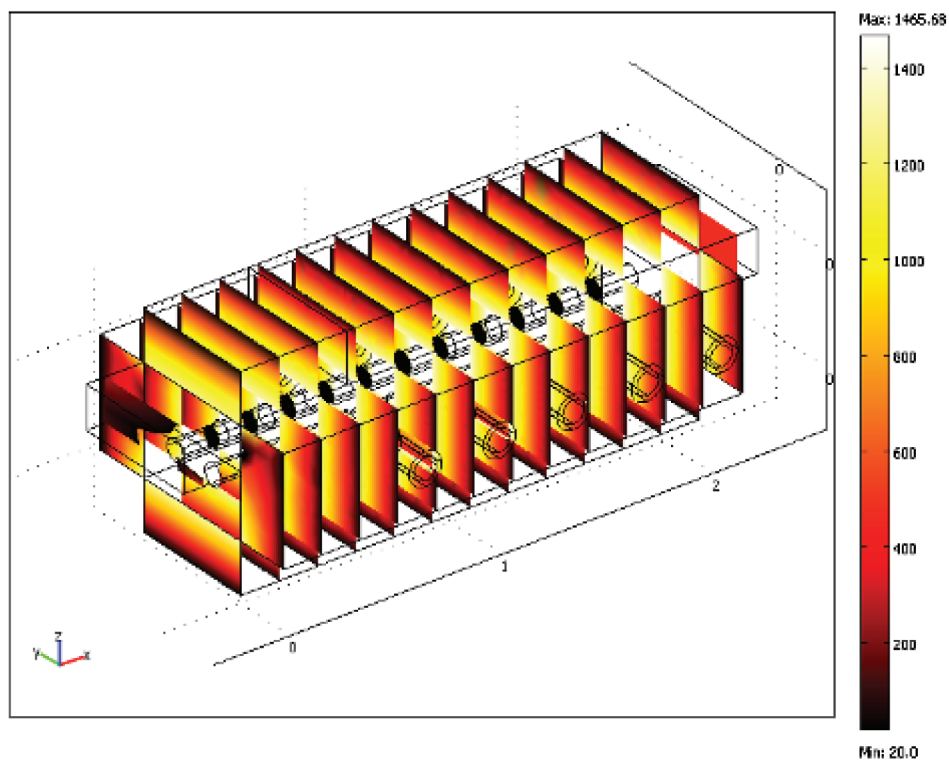
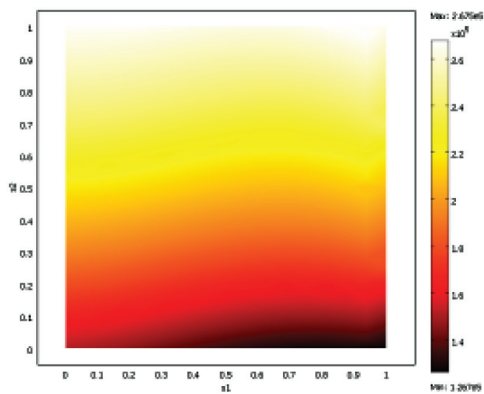
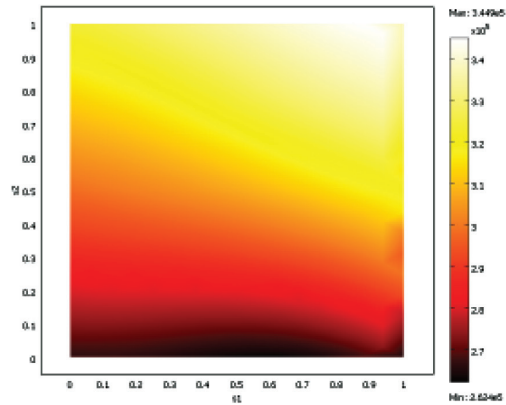


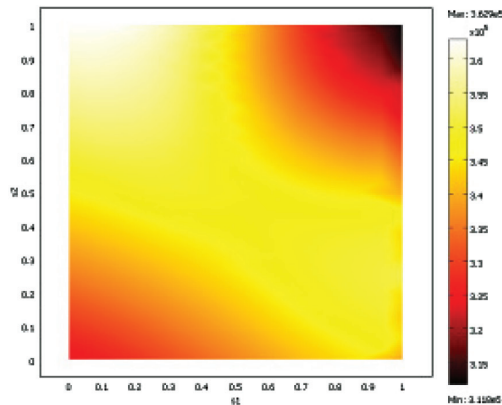
Рис. 12. Установившиеся температуры продуктов сгорания и кладки при работе всех горелок на максимальной мощности 160 кВт



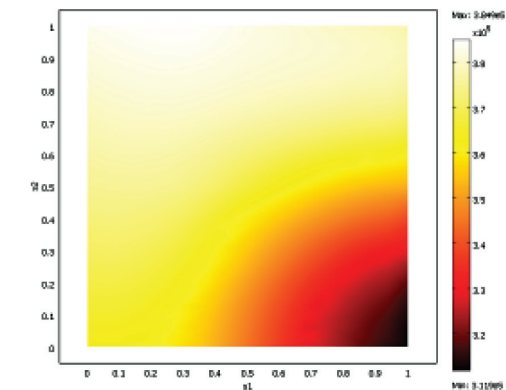
a



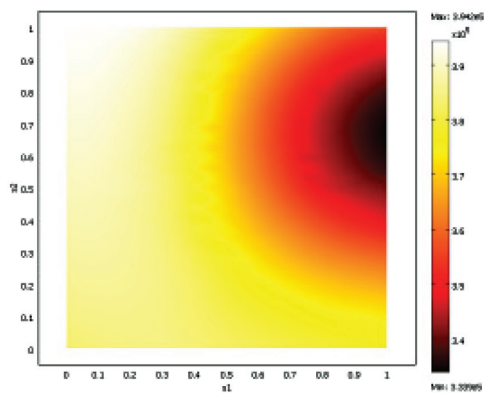
б



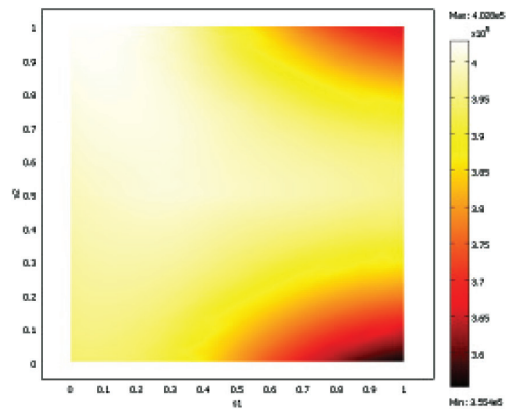
в



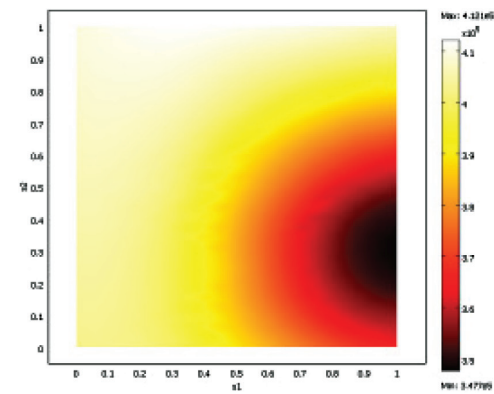
г



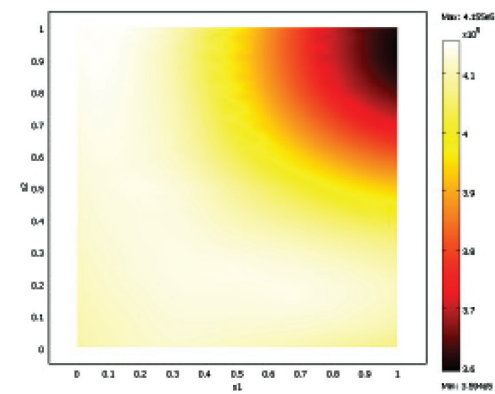
д



е



ж



з

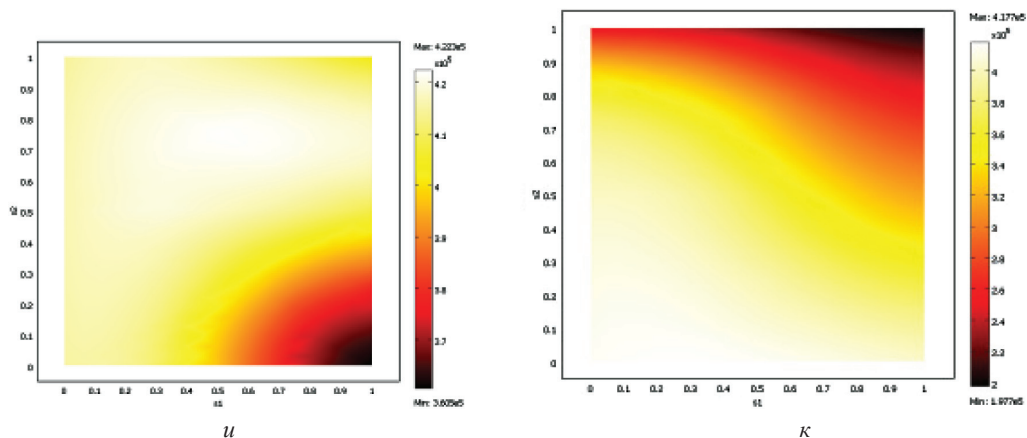


Рис. 13. Тепловые потоки на поверхности заготовок (поверхности обезразмерены) при мощности всех горелок 160 кВт: а – первая поверхность; б – вторая; в – третья; г – четвертая; д – пятая; е – шестая; ж – седьмая; з – восьмая; и – девятая; к – десятая

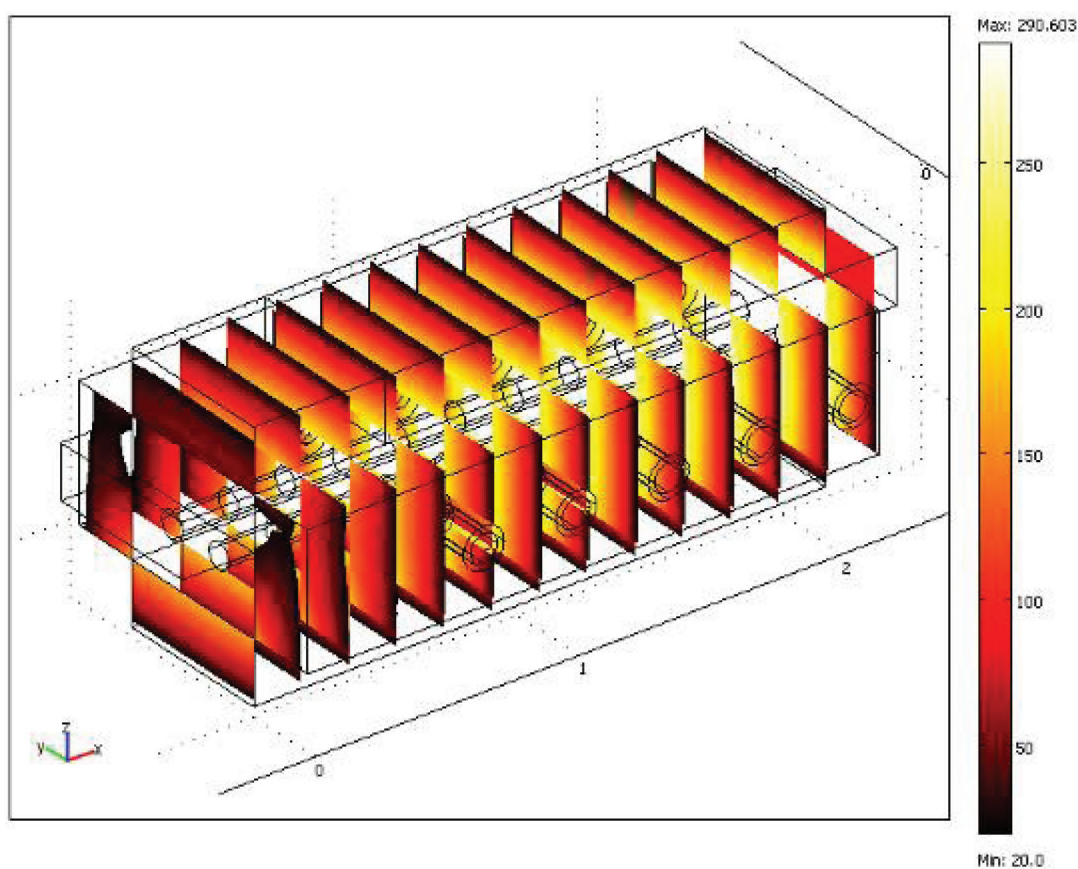
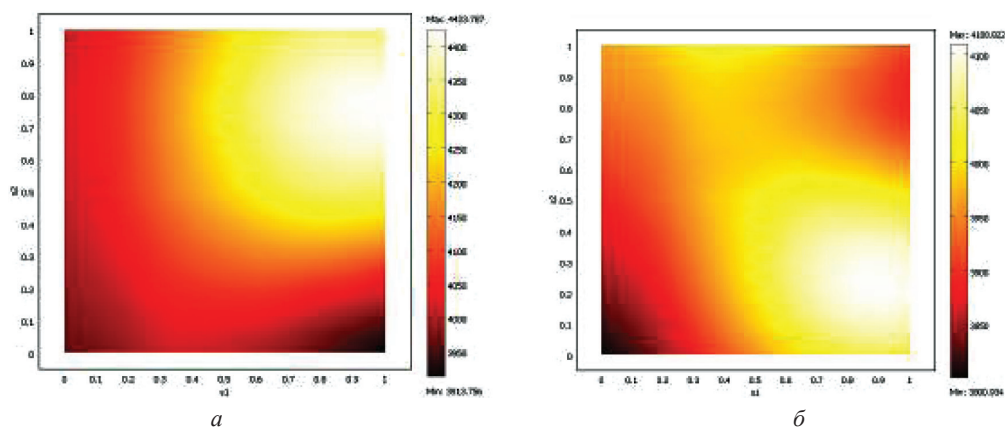


Рис. 14. Установившиеся температуры продуктов сгорания и кладки при работе всех горелок мощностью 16 кВт



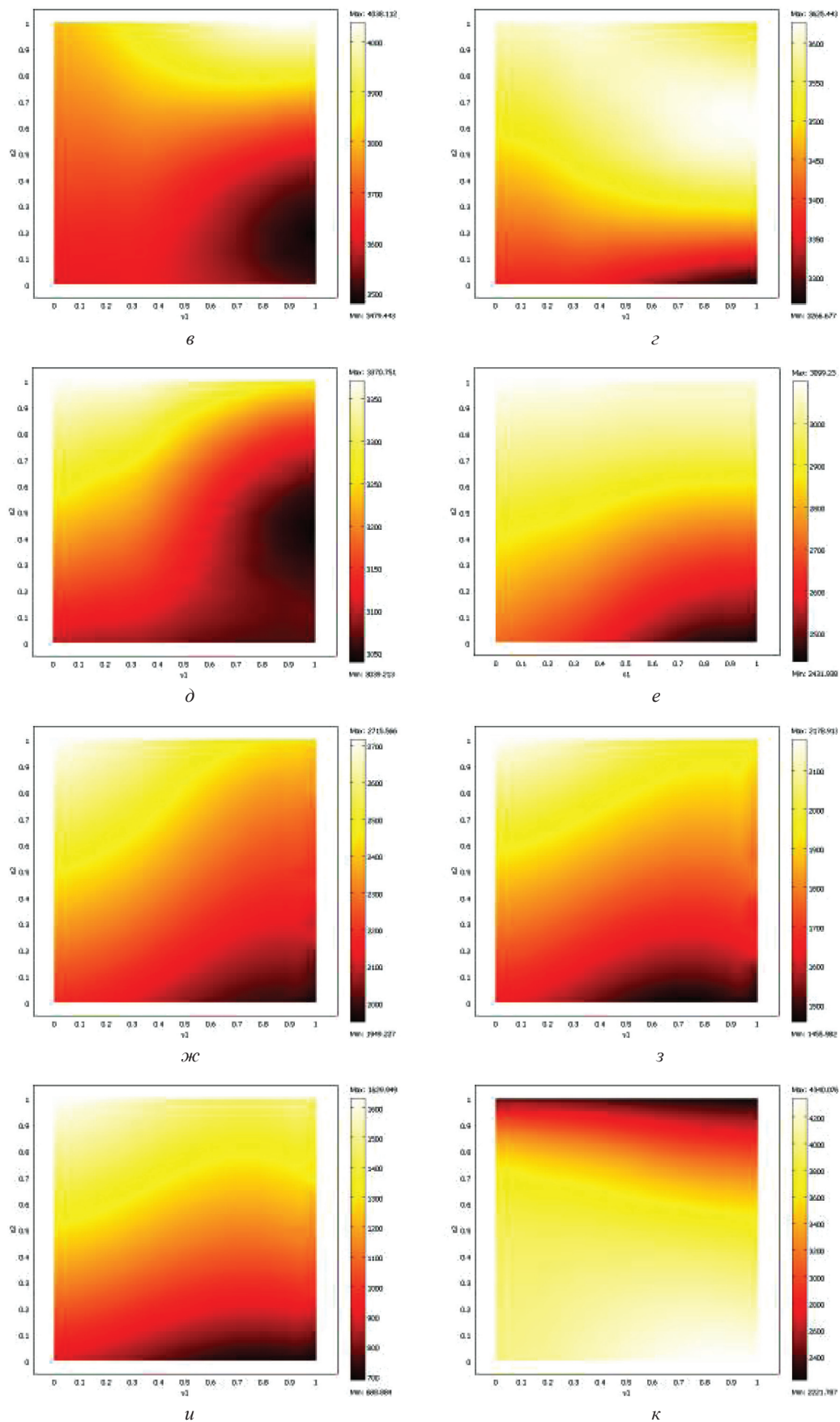


Рис. 15. Тепловые потоки на поверхности заготовок (поверхности обезразмерены) при мощности всех горелок 16 кВт: *а* – первая поверхность; *б* – вторая; *в* – третья; *г* – четвертая; *д* – пятая; *е* – шестая; *ж* – седьмая; *з* – восьмая; *и* – девятая; *к* – десятая

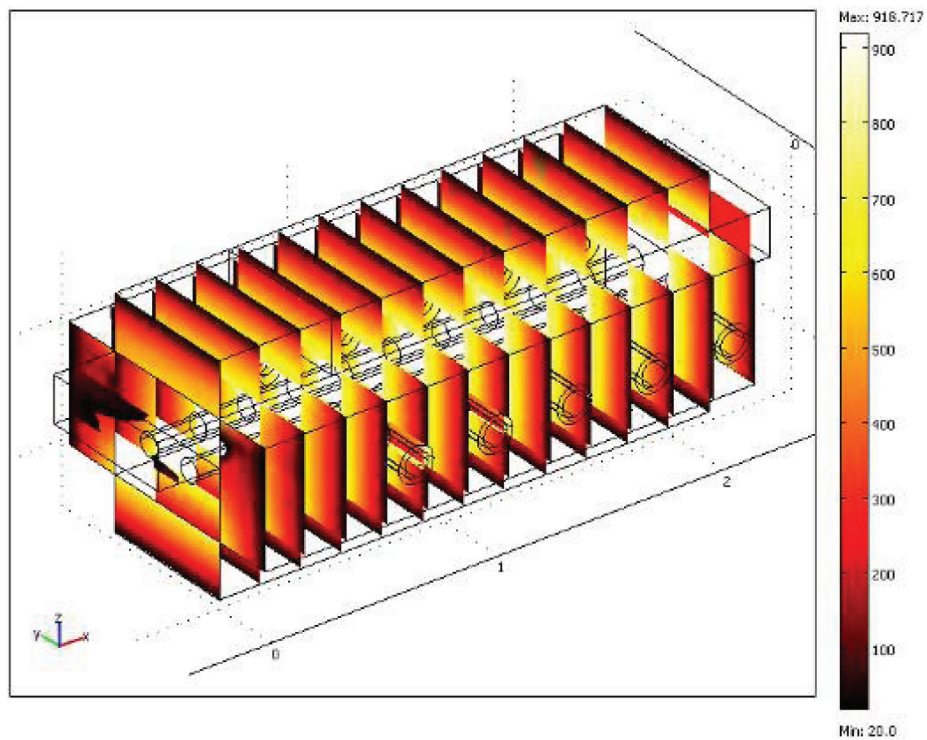
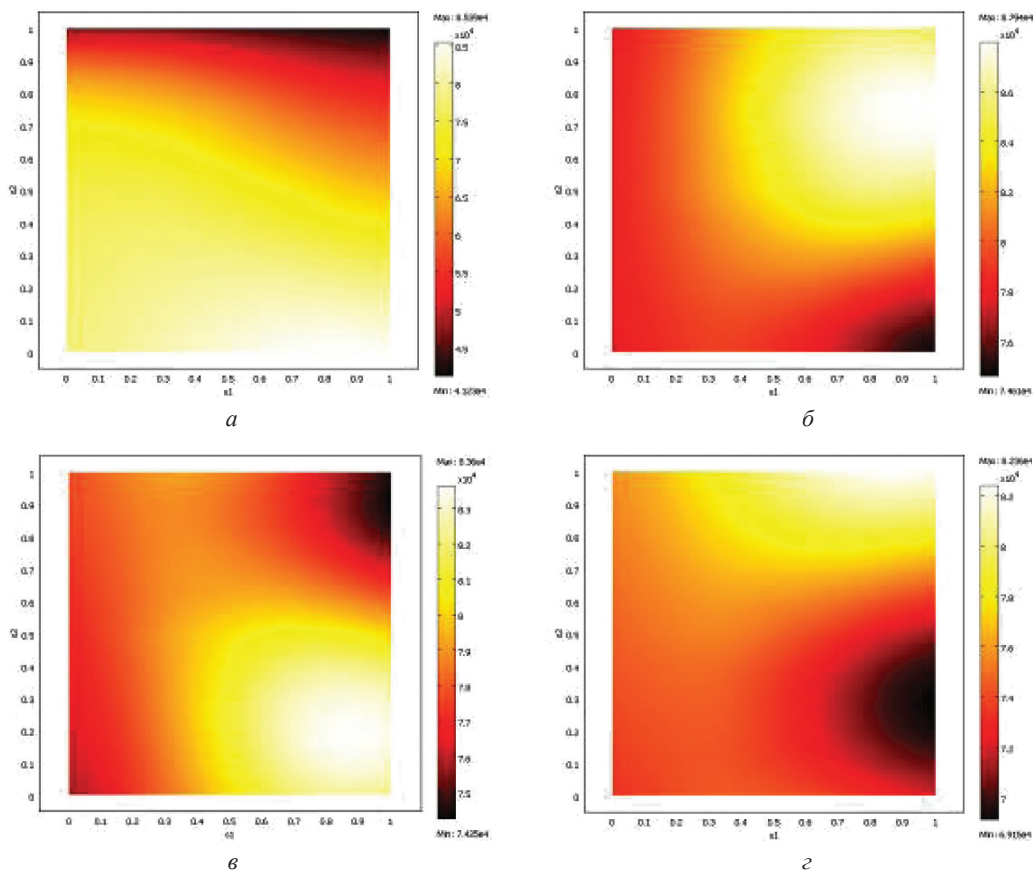


Рис. 16. Установившиеся температуры продуктов сгорания и кладки при работе всех горелок мощностью 80 кВт



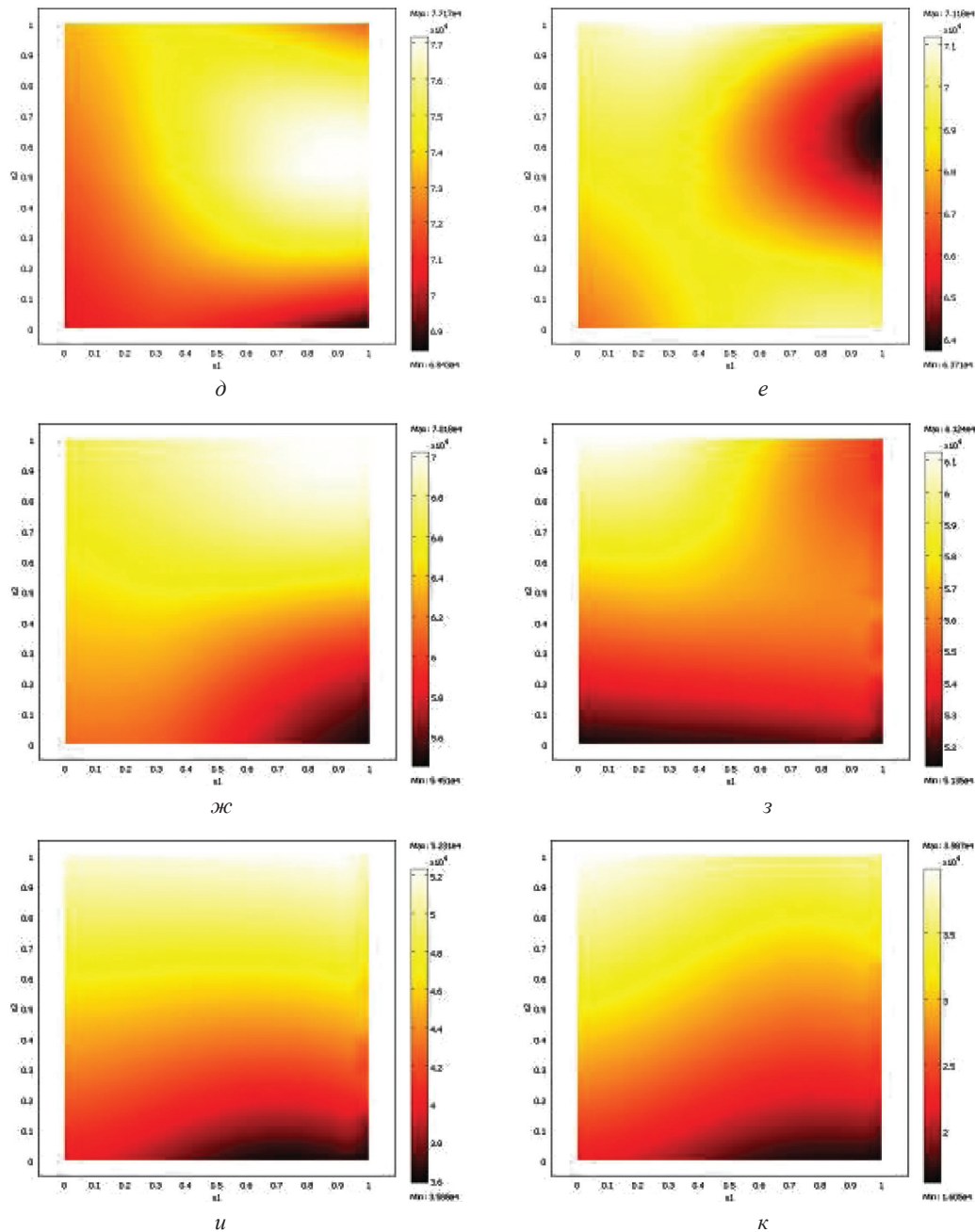


Рис. 17. Тепловые потоки на поверхности заготовок (поверхности обезразмерены) при мощности всех горелок 80 кВт: *а* – первая поверхность; *б* – вторая; *в* – третья; *г* – четвертая; *д* – пятая; *е* – шестая; *ж* – седьмая; *з* – восьмая; *и* – девятая; *к* – десятая

ность заготовок в расчетных точках (поверхности обезразмерены).

На рис. 18 приведены установившиеся температуры продуктов сгорания и кладки при работе всех горелок мощностью 100 кВт, а на рис. 19 – значения падающих тепловых потоков на поверхность заготовок в расчетных точках (поверхности приведены к безразмерному виду). Как видно из рис. 19, максимальные тепловые потоки на металл превышают максимально допустимые потоки примерно на 10% (если сравнивать с результатами работы [3]).

Таким образом, результаты моделирования (рис. 12–19) показали, что при мощности всех горелок 100 кВт падающие потоки на металл превышают максимально допустимые значения по критерию термopочности на 10–15%, а при мощности горелочных устройств 80 кВт от 3-го до 5-го рядов (см. рис. 10) горелок есть резерв увеличения их мощности. В результате предложена технология нагрева металла, когда на первые два ряда горелок подается мощность 80 кВт, а на последние три ряда – мощность 90 кВт. Распределение температуры теплоносителя (дымовых газов) и кладки при

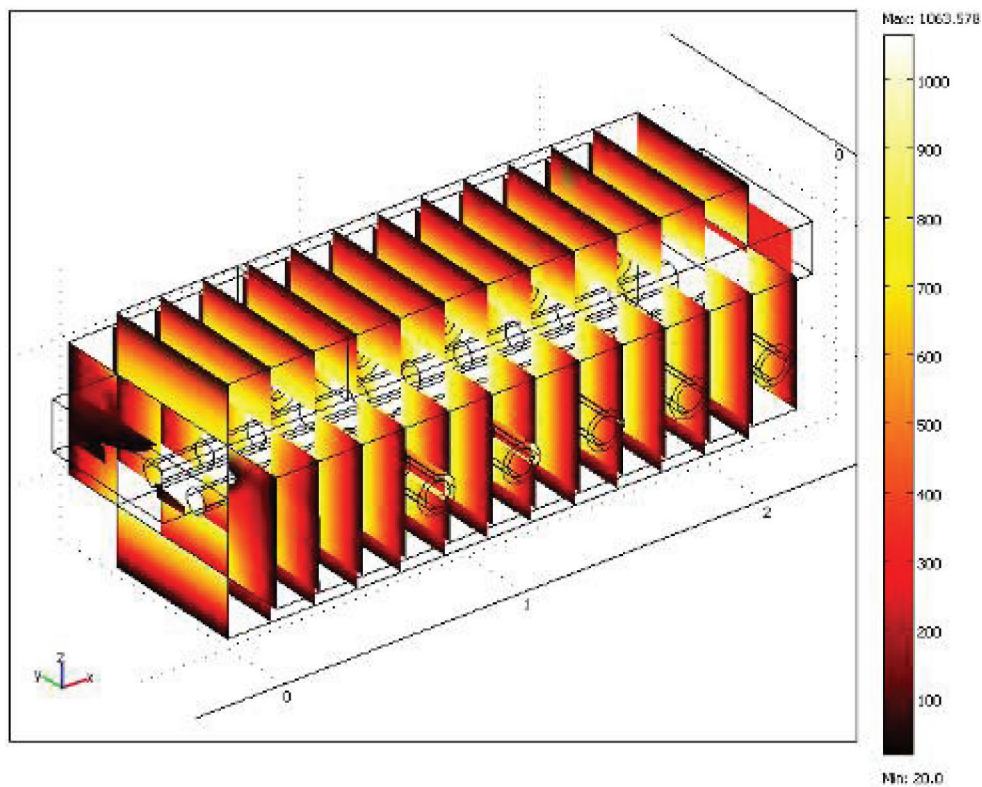
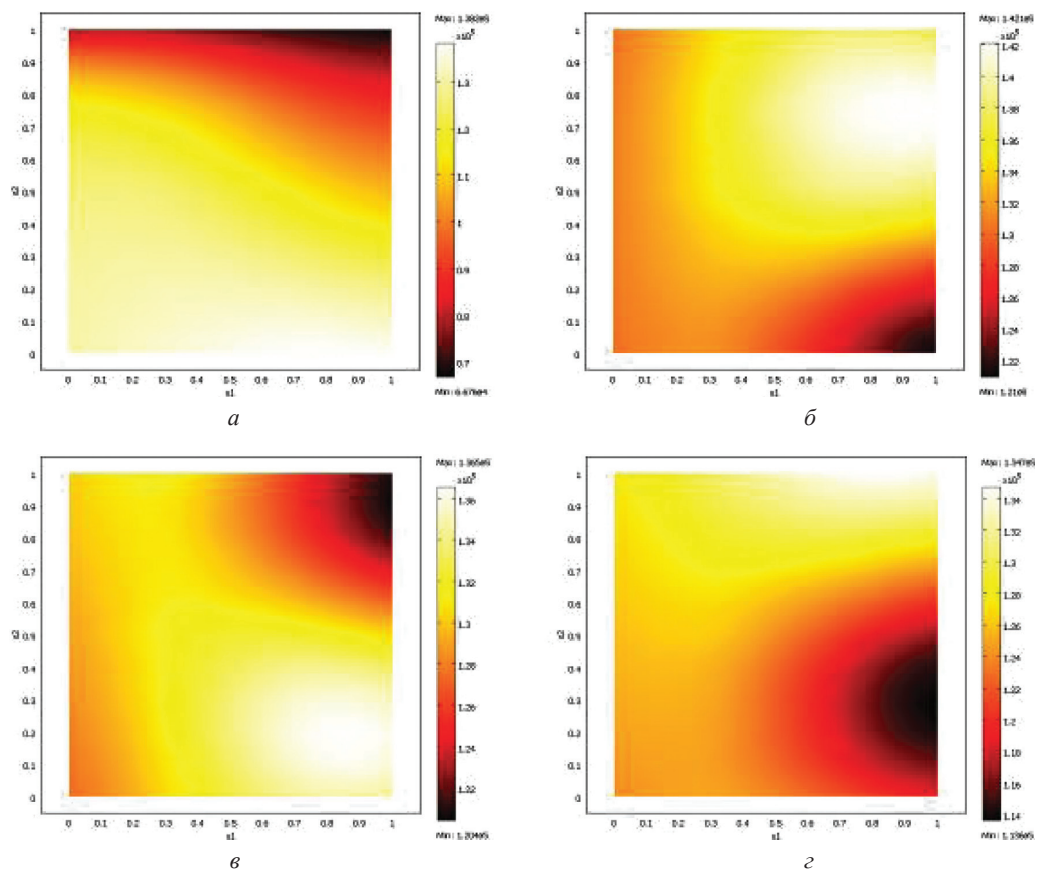


Рис. 18. Установившиеся температуры продуктов сгорания и кладки при работе всех горелок мощностью 100 кВт



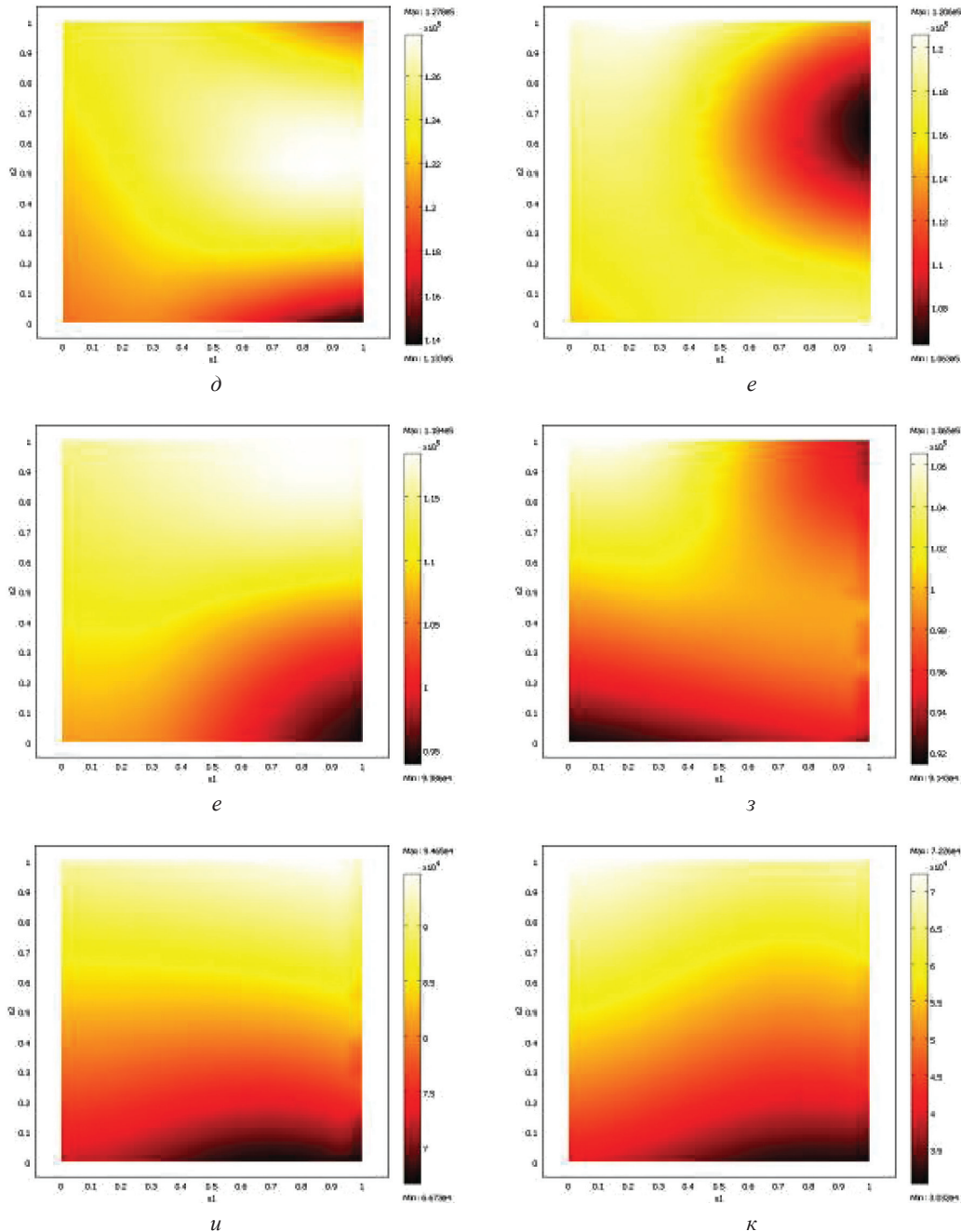


Рис. 19. Тепловые потоки на поверхности заготовок (поверхности обезразмерены) при мощности всех горелок 100 кВт: *a* – первая поверхность; *б* – вторая; *в* – третья; *г* – четвертая; *д* – пятая; *е* – шестая; *ж* – седьмая; *з* – восьмая; *и* – девятая; *к* – десятая

таким режиме нагрева приведено на рис. 20, а значения падающих потоков на металл – на рис. 21.

На рис. 22 приведены обобщающие результаты расчетов падающих тепловых потоков на металл в расчетных точках печи (см. рис. 10) при различной мощности горелочных устройств. Зеленым цветом и треугольным маркером показаны оптимальные падающие тепловые потоки на металл (результатирующие тепловые потоки, согласно работе [3], плюс собственное излучение

заготовок $\epsilon_j \sigma T_j^4$). Как видно из рисунка, при распределении мощностей по рядам горелок следующим образом (1-й и 2-й ряды – 80 кВт, 3–5-й ряды – 90 кВт) удастся максимально приблизить значения падающих тепловых потоков к максимальному, определенному в [3], что обеспечит минимальное время нагрева заготовок или максимальную производительность при выполнении требования на термopочность металла.

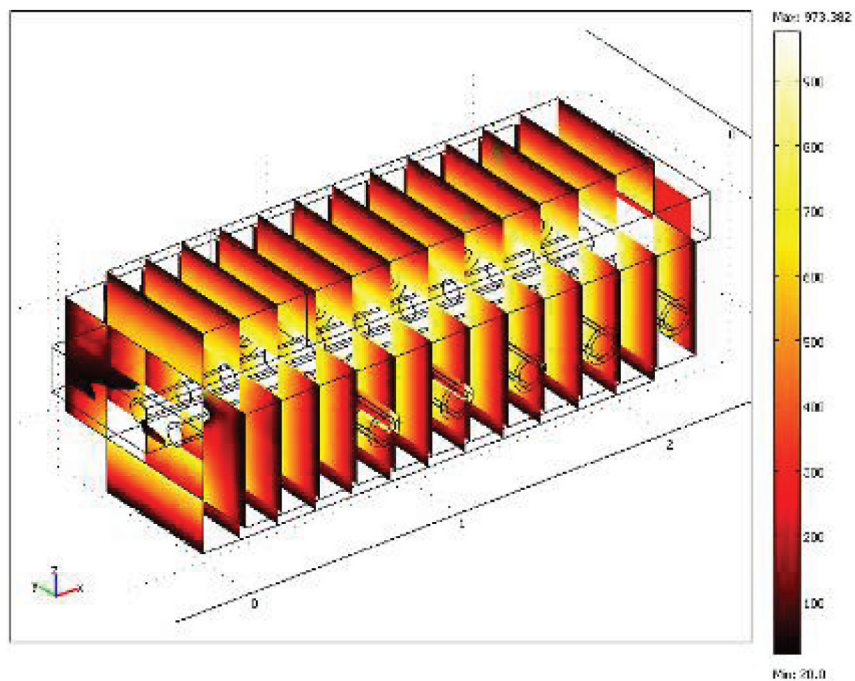
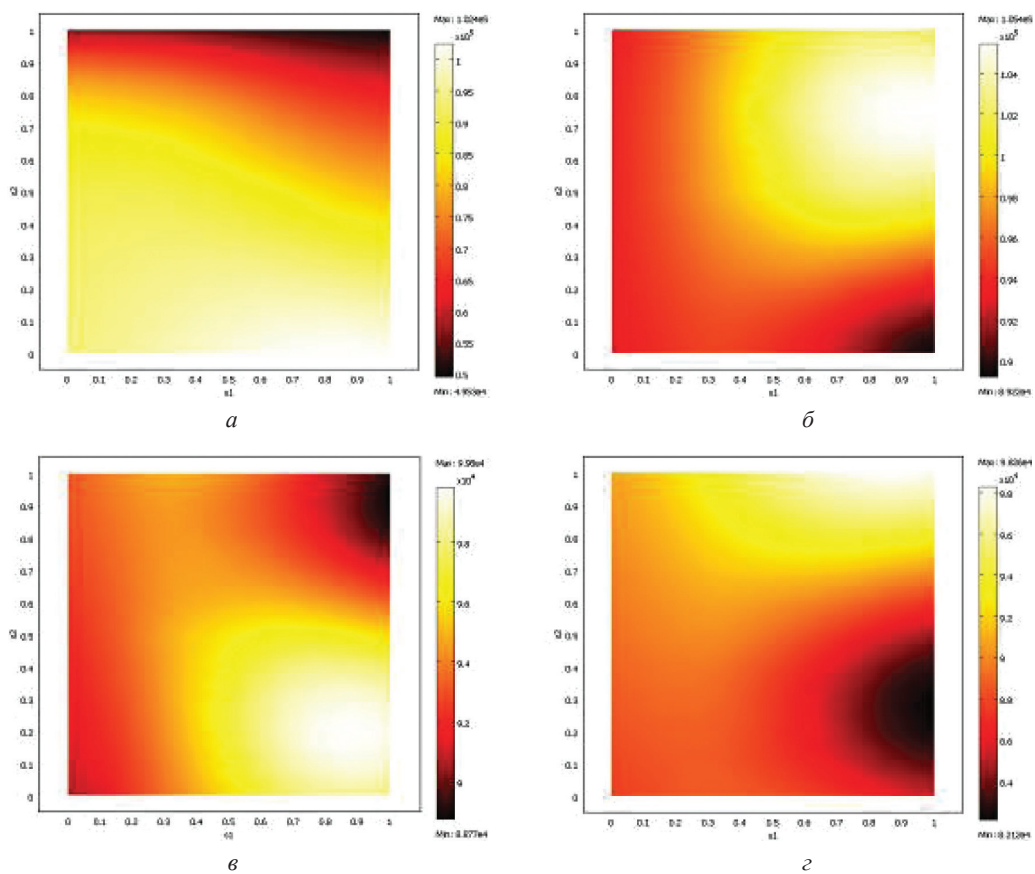


Рис. 20. Установившиеся температуры продуктов сгорания и кладки при распределении мощности по горелкам: 1-й и 2-й ряды – 80 кВт; 3–5-й ряды – 90 кВт



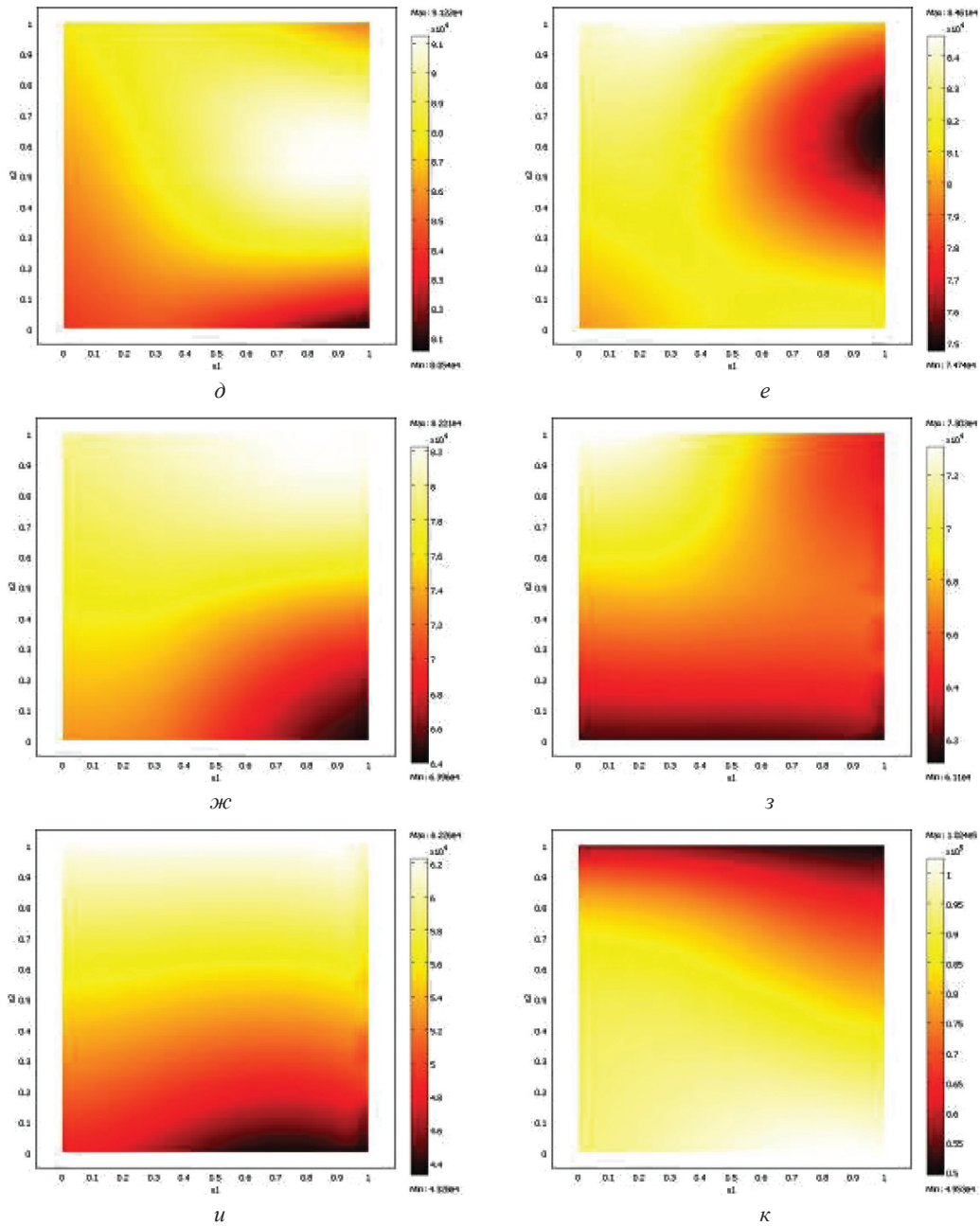


Рис. 21. Тепловые потоки на поверхности заготовок (поверхности обезразмерены) при распределении мощности по рядам горелок: 1-й и 2-й ряды – 80 кВт, 3–5-й ряды – 90 кВт: а – первая поверхность; б – вторая; в – третья; г – четвертая; д – пятая; е – шестая; ж – седьмая; з – восьмая; и – девятая; к – десятая

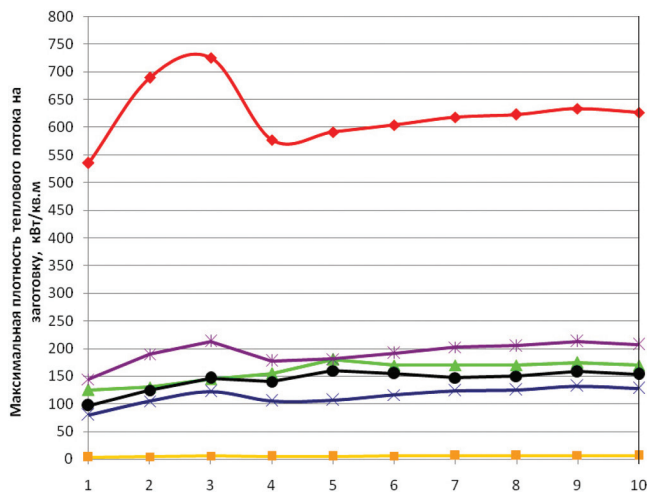


Рис. 22. Значения величины падающих тепловых потоков на металл в расчетных точках печи при различной мощности горелочных устройств

Положение заготовки в печи

- 160-...-160кВт
- 16-...-16кВт
- 80-...-80кВт
- 100-...-100кВт
- 80-80-90-90-90кВт
- оптимальный режим (расчет)

Литература

1. Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Ратников П. Э. Возможности применения струйного нагрева металла перед прокаткой // Литье и металлургия. 2007. № 2. С. 63–66.
2. Опыт эксплуатации газовой автоматизированной печи скоростного конвективного нагрева / М. А. Розенберг, М. М. Зубкова, П. С. Берковская, И. А. Дубовской // Кузнечно-штамповочное производство. 1978. № 3. С. 36–38.
3. Отчет о НИР «Исследование процессов высокоэнергетического струйного конвективного и радиационного нагрева термически массивных изделий с целью разработки оптимальных теплотехнологий. Этап 4. Выполнение многовариантных расчетов нагрева тел различной конфигурации в промышленных печах».