



УДК 621.74

Поступила 27.01.2015

## О МЕТОДЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР РАСПЛАВА

### ABOUT THE METHOD OF GATING SYSTEMS ANALYSIS BASED ON MODELING DATA OF SPATIAL IMAGES TEMPERATURES OF MELT

С. Г. ЛИХОУЗОВ, А. Н. ЧИЧКО, В. Ф. СОБОЛЕВ, Т. В. МАТЮШИНЕЦ, О. А. САЧЕК, О. И. ЧИЧКО,  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

S. LIHOUZOV, A. CHICHKO, V. SOBOLEV, T. MATJUSHINEC, O. SACHEK, O. CHICHKO,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

*Метод системного анализа литниковых систем разработан на основе данных моделирования искусственных пространственных изображений температур расплава, заполняющего форму. На примере рассчитанных статистических распределений показана чувствительность введенных параметров искусственного изображения температурного поля от времени процесса к таким параметрам литниковой системы, как соотношение питателя, шлакоуловителя и стояка.*

*The method of system analysis of gating systems designed on the basis of modeling of artificial spatial images temperatures melt filling the form. On the example of the calculated statistical distributions show the sensitivity of the input parameters of artificial image of the temperature field from process time such parameters as the ratio of the gating system feeder, slag catcher and strut.*

**Ключевые слова.** Моделирование, отливка, литниковые системы, пространственное распределение температур.

**Keywords.** Modeling, casting, gating system, the spatial distribution of temperature.

Важнейшей задачей литейного производства является выбор литниковых систем для изготовления отливок. Анализ многочисленных исследований, направленных на разработку методов выбора литниковых систем для различных отливок, показывает, что решение этой проблемы по-прежнему является ключевой как для теории литейных процессов, так и для практики литейного производства.

В данной работе развивается новый метод анализа литниковых систем на основе обработки искусственных изображений, полученных при моделировании температурных полей процессов заполнения литниковых систем.

В качестве исходных данных для разработки метода были использованы статистические распределения температур для различных соотношений питателя, шлакоуловителя и стояка  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$  для отливки, представленной на рис. 1.

Используя методы компьютерного моделирования [1, 2] и результаты работ [3, 4], были получены статистические распределения температур отливок для четырех соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$  с различными сечениями питателя, шлакоуловителя и стояка. На рис. 2 показаны гистограммы статистических распределений значений температур в чугунной отливке «корпус» с соотношением  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}} = 5:7:10$  для трех моментов времени  $t = 1, 3, 5$  с.

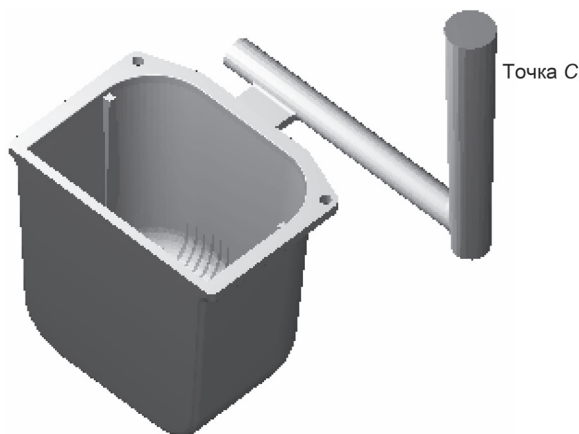


Рис. 1. Вид литниковой системы и отливки, использованных для моделирования

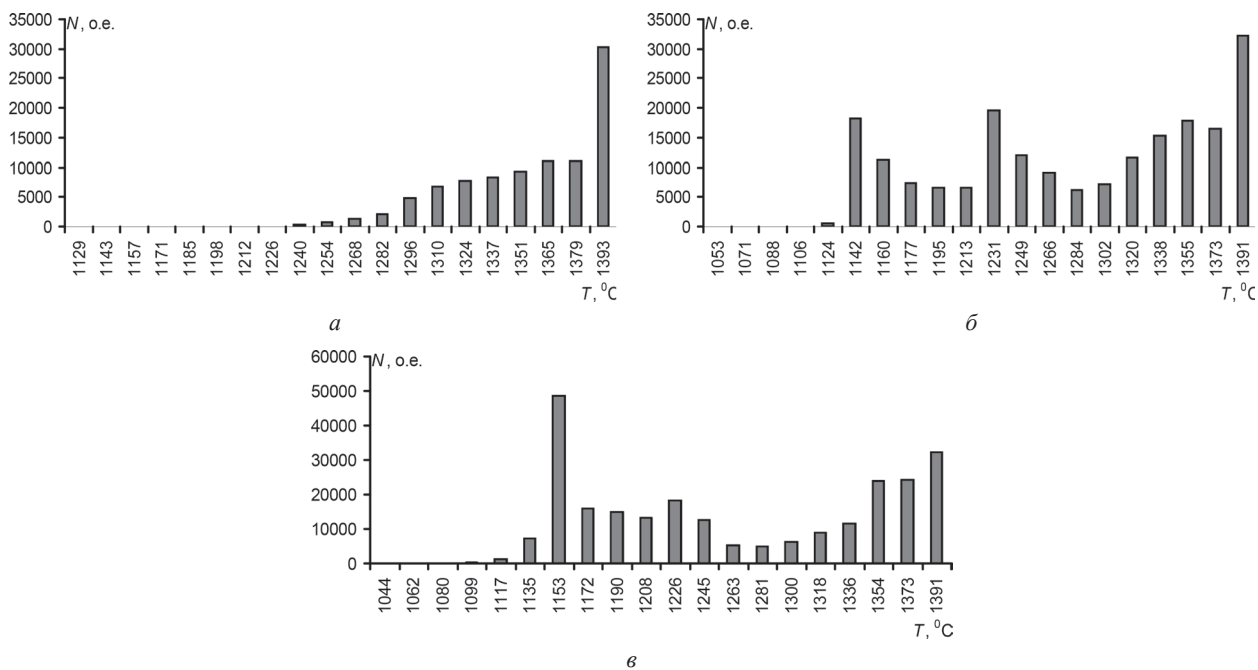


Рис. 2. Гистограмма распределения значений температур в чугунной отливке «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_C$  5:7:10 для различных моментов времени: а –  $t = 1$  с; б – 3; в – 5 с

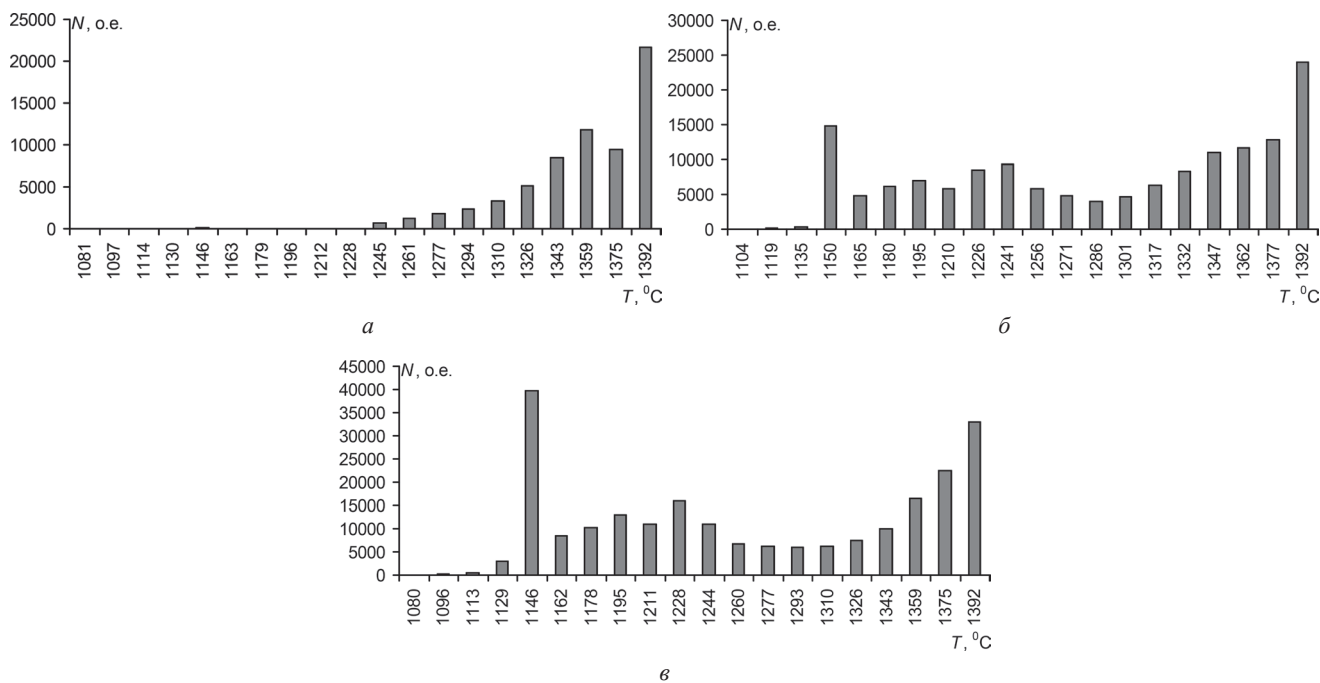


Рис. 3. Гистограмма распределения значений температур в чугунной отливке «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_C$  8:12:10 для различных моментов времени: а –  $t = 1$  с; б – 3; в – 5 с

На рис. 3 показаны гистограммы статистических распределений значений температур в чугунной отливке «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_C$  8:12:10 для трех моментов времени  $t = 1, 3, 5$  с.

На рис. 4 показаны гистограммы статистических распределений значений температур в чугунной отливке «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_C$  10:12:10 для трех моментов времени  $t = 1, 3, 5$  с.

На рис. 5 показаны гистограммы статистических распределений значений температур в чугунной отливке «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_C$ , 15:18:10 для трех моментов времени  $t = 1$  с, 3 с, 5 с.

Анализ рассчитанных распределений по температурам для различных моментов времени показывает, что центр распределения температур в моделируемом распределении температурного изображения смещается влево, что является характеристикой увеличения объема металла с низкими температурами. Для первой секунды заполнения максимальное число клеток характерно для наибольших температур отливки, в то время как для последующих моментов времени все большее количество клеток принимало

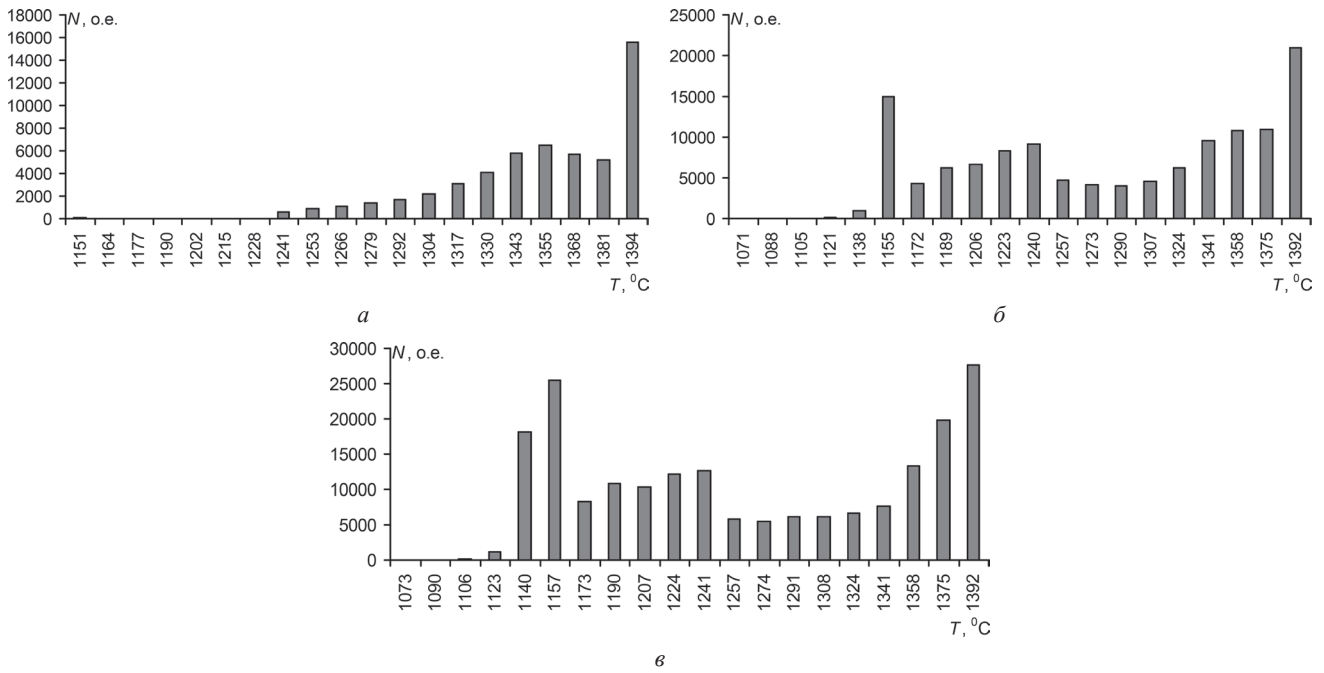


Рис. 4. Гистограмма распределения значений температур в чугуновой отливке «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_C$  10:12:10 для различных моментов времени: а –  $t = 1$  с; б – 3; в – 5 с

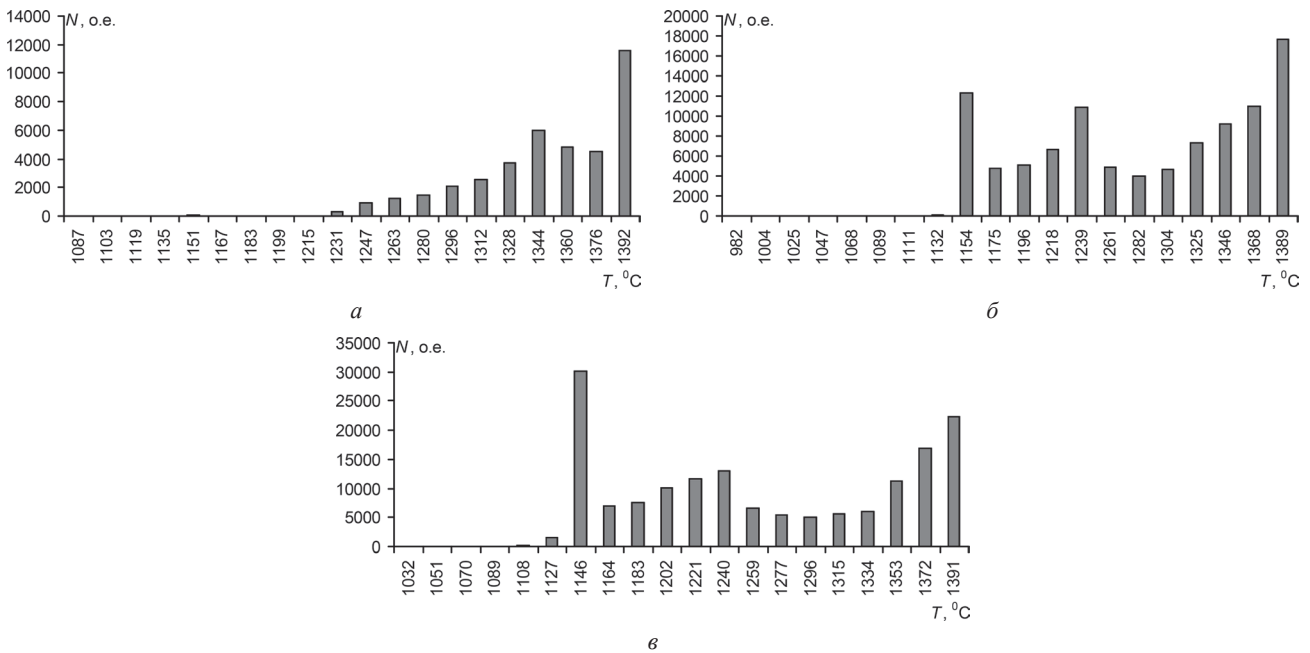


Рис. 5. Гистограмма распределения значений температур в чугуновой отливке «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_C$  15:18:10 для различных моментов времени: а –  $t = 1$  с; б – 3; в – 5 с

наименьшие значения. Кроме того, следует отметить изменение значений диапазона температур отливки для различных соотношений  $F_{II} : F_{III} : F_C$ . Так, для соотношения 5:7:10 диапазон температур отливки вначале расширился с [1129 °С; 1393 °С] до [1053 °С; 1391 °С], а затем до [1044 °С; 1391 °С]. Тогда как для соотношения 8:12:10 диапазон температур отливки вначале сузился с [1081 °С; 1392 °С], а затем расширился до [1080 °С; 1392 °С]. Для двух остальных рассматриваемых соотношений  $F_{II} : F_{III} : F_C$  вначале происходило расширение диапазона температур, а затем сужение.

С целью более детального анализа распределения температур по объему отливок была предложена методика формализации. Суть этой методики состоит в замене статистических функций распределения, полученных по искусственным изображениям, на количественные параметры, которые характеризуют динамику изменения температур в различных сеточных элементах в объеме.

Для формализации статистических функций распределения предлагается использовать четыре параметра, которые вычисляются для каждого момента времени:

$$P_1(t) = \frac{\sum_{i=1}^5 N_i(t, T_i) \cdot T_i}{\sum_{i=1}^5 N_i^t(T_i)} - T_{cp}(t), \quad (1)$$

$$P_2(t) = \frac{\sum_{i=6}^{10} N_i(t, T_i) \cdot T_i}{\sum_{i=6}^{10} N_i^t(T_i)} - T_{cp}(t), \quad (2)$$

$$P_3(t) = \frac{\sum_{i=11}^{15} N_i(t, T_i) \cdot T_i}{\sum_{i=11}^{15} N_i^t(T_i)} - T_{cp}(t), \quad (3)$$

$$P_4(t) = \frac{\sum_{i=16}^{20} N_i(t, T_i) \cdot T_i}{\sum_{i=16}^{20} N_i^t(T_i)} - T_{cp}(t), \quad (4)$$

где  $T_{cp}(t)$  – среднее значение температуры в отливке для момента времени  $t$ ;  $N_i(t, T_i)$  – число ячеек с температурой  $T_i$  для момента времени  $t$ ;  $T_i$  – среднее значение температуры для  $i$ -го интервала дискретизации,  $i = 1, 20$ .

Физический смысл представленных параметров сводится к количественной оценке различных групп сеточных элементов от виртуальной средней температуры объекта, которая определяется по статистической функции распределения температур всего заполняемого объекта. Чем больше температурное различие между «холодными» и «горячими» сеточными элементами, тем больше склонность к появлению технологических дефектов отливки, например, недоливов. Таким образом, использование статистических функций распределения дает возможность для оценки качества литниковых систем по формализованным параметрам.

На рис. 6–9 представлено изменение рассчитанных значений параметров  $P_1, P_2, P_3, P_4$  на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» с различными соотношениями  $F_{II} : F_{III} : F_C$ , а именно, 5:7:10; 8:12:10; 10:12:10; 15:18:10. Как видно из рисунков, абсолютные значения параметров  $P_1, P_2, P_3$  возрастают с течением времени и достигают максимального абсолютного значения для момента времени, равного 1,5 с (соотношение 5:7:10), 2 с (соотношения 8:12:10; 10:12:10) и 2,5 с (соотношение 15:18:10). Затем происходит резкое убывание значений в течение небольшого промежутка времени, различного

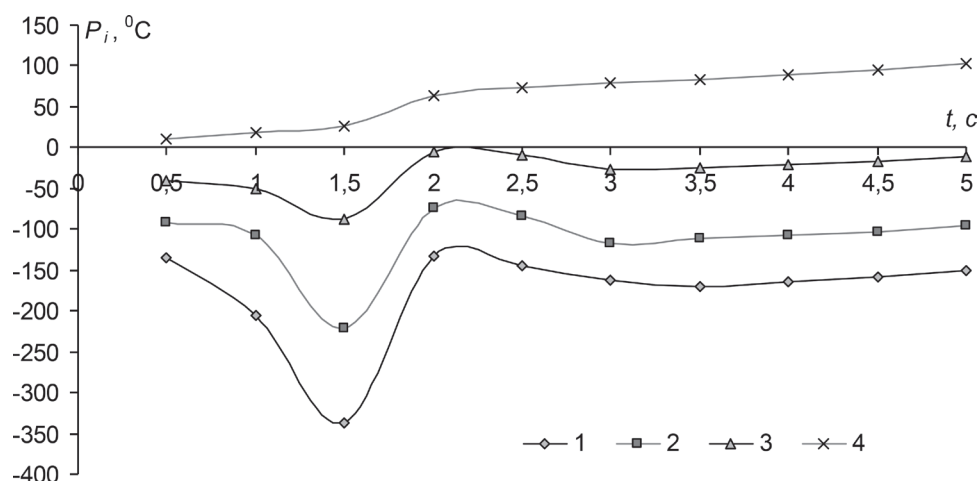


Рис. 6. Изменение значений параметров распределения температур  $P_1, P_2, P_3, P_4$  на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_C$  5:7:10: 1 –  $P_1$ ; 2 –  $P_2$ ; 3 –  $P_3$ ; 4 –  $P_4$

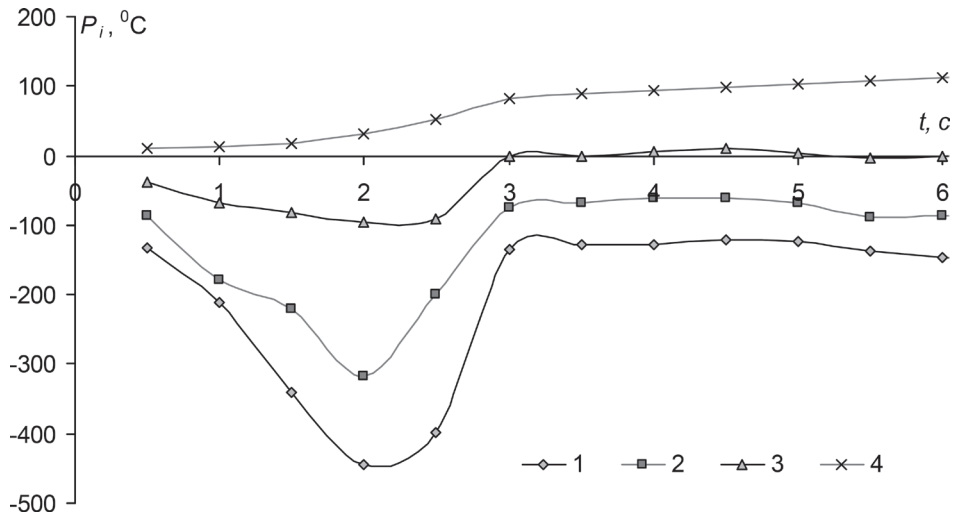


Рис. 7. Изменение значений параметров распределения температур  $P_1, P_2, P_3, P_4$  на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_c$  8:12:10: 1 –  $P_1$ ; 2 –  $P_2$ ; 3 –  $P_3$ ; 4 –  $P_4$

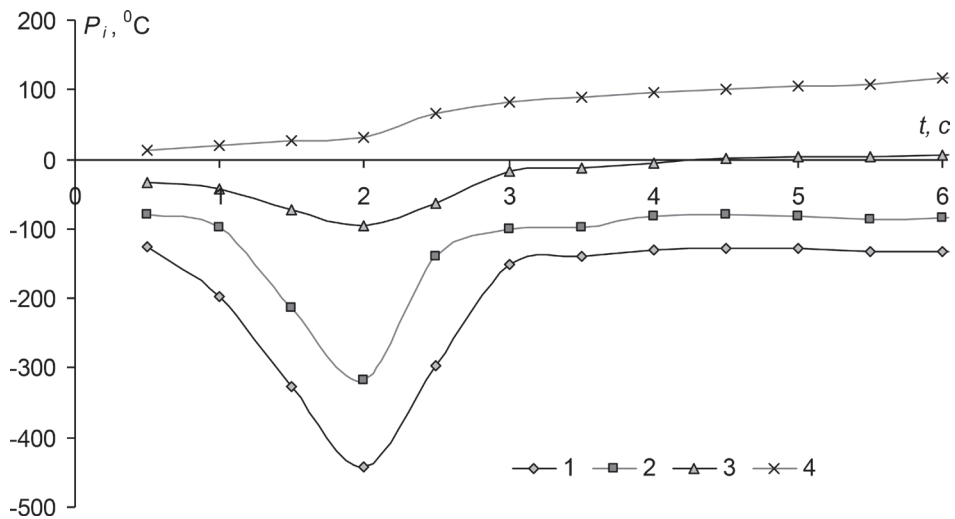


Рис. 8. Изменение значений параметров распределения температур  $P_1, P_2, P_3, P_4$  на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_c$  10:12:10: 1 –  $P_1$ ; 2 –  $P_2$ ; 3 –  $P_3$ ; 4 –  $P_4$

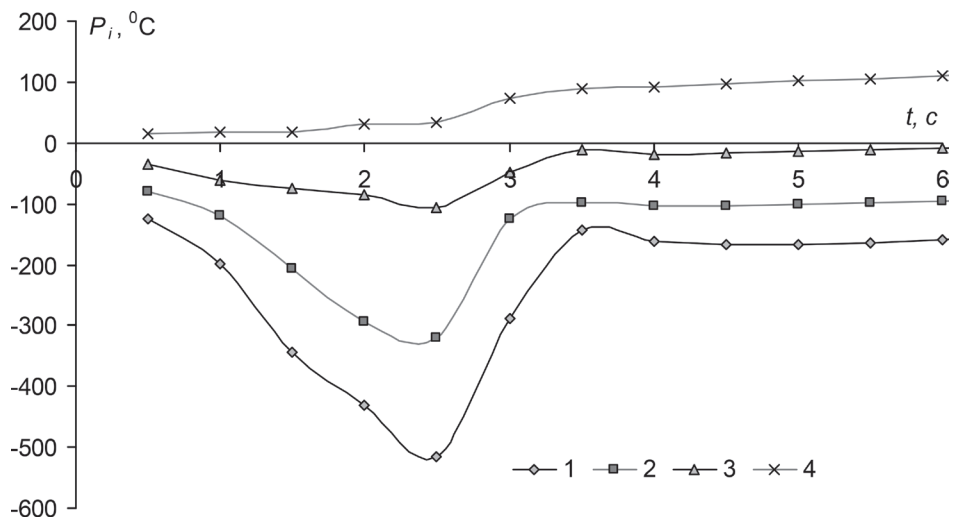


Рис. 9. Изменение значений параметров распределения температур  $P_1, P_2, P_3, P_4$  на протяжении всего процесса заполнения отливки «корпус» с соотношением  $F_{II} : F_{III} : F_c$  15:18:10: 1 –  $P_1$ ; 2 –  $P_2$ ; 3 –  $P_3$ ; 4 –  $P_4$

для разных соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$ . Так, для соотношения 5:7:10 этот момент времени равен 2 с; для соотношений 8:12:10 и 10:12:10 – 3 с и соотношения 15:18:10 – 3,5 с. Затем значения температур колеблются в узком диапазоне для параметра  $P_3$ ; [–28 °С; –9 °С] – для соотношения 5:7:10; [–3 °С; 9 °С] – для соотношения 8:12:10; [–13 °С; 10 °С] – для соотношения 10:12:10; [–19 °С; –6 °С] – для соотношения 15:18:10. Для параметра  $P_2$  эти диапазоны для различных соотношений составляют [–112 °С; –83 °С] – для соотношения 5:7:10; [–90 °С; –60 °С] – для соотношения 8:12:10; [–98 °С; –79 °С] – для соотношения 10:12:10; [–104 °С; –91 °С] – для соотношения 15:18:10. Для параметра  $P_1$  указанные диапазоны для различных соотношений имеют вид: [–170 °С; –145 °С] – для соотношения 5:7:10; [–150 °С; –122 °С] – для соотношения 8:12:10; [–140 °С; –127 °С] – для соотношения 10:12:10; [–167 °С; –151 °С] – для соотношения 15:18:10. Параметр  $P_4$  на протяжении всего процесса заполнения отливки возрастает.

Следует отметить, что максимальный градиент температур между параметрами  $P_1$  и  $P_4$  достигается для варианта соотношения  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$  15:18:10, что говорит о наибольшей вероятности появления недолива и согласуется с полученными на предыдущих этапах данными по объемам недолива: объем недолива увеличивается от варианта соотношений 5:7:10 (0,0328 м<sup>3</sup>) к варианту соотношений 15:18:10 (0,0609 м<sup>3</sup>).

Из изложенного выше следует, что представленные результаты показывают чувствительность введенных параметров  $P_1$ ;  $P_2$ ;  $P_3$ ;  $P_4$  искусственного изображения температурного поля к таким параметрам литниковой системы, как соотношение питателя, шлакоуловителя и стояка. Причем эти параметры изменяются в динамике процесса заполнения отливки и зависят от движения металла, кроме того, они могут быть использованы для ранжировок искусственных трехмерных изображений температур систем «отливка-литниковая система», что может стать основой системного анализа для выбора литниковой системы конкретной отливки.

### Литература

1. Чичко А. Н., Лихоузов С. Г. Клеточно-автоматное моделирование процесса течения расплава в форме // Докл. НАН Беларуси. 2001. Т.45. № 4. С. 110–114.
2. Чичко А. Н., Соболев В. Ф., Лихоузов С. Г. Компьютерная система «ПроЛит» – инструмент для повышения качества // ТЭО. 2001. № 6. С. 30–31.
3. Чичко А. Н., Кукуй Д. М., Соболев В. Ф., Лихоузов С. Г., Матюшинец Т. В., Сачек О. А., Чичко О. И. Компьютерное моделирование характеристик течения расплава чугуна для отливок, изготавливаемых методом вакуумно-пленочной формовки // Литье и металлургия. 2013. № 1. С. 77–82.
4. Лихоузов С. Г., Сачек О. А., Соболев В. Ф., Матюшинец Т. В., Чичко О. И. Моделирование статистических характеристик течения расплавленного металла для расширяющихся и сужающихся литниковых систем с высоким статическим напором, используемых для вакуумно-пленочных форм // Литье и металлургия. 2013. Спецвыпуск. С. 36–41.

### References

1. Chichko A. N., Lihouzov S. G. Kletочно-автоматное моделирование процесса течения расплава в форме [Cellular automata simulation of melt flow in the form]. *Doklady NAN Belarusi*. 2001. Vol. 45. no. 4, pp. 110–114.
2. Chichko A. N., Sobolev V. F., Lihouzov S. G. Komp'juternaja sistema «ProLit» – instrument dlja povyshenija kachestva [Computer system «ProLit» – a tool for improving of the quality]. *TJEO*. 2001. no. 6. pp. 30–31.
3. Chichko A. N., Kukuj D. M., Sobolev V. F., Lihouzov S. G., Matjushinec T. V., SACHEK O. A., Chichko O. I. Komp'juternoe modelirovanie harakteristik techenija raspplava chuguna dlja otlivok, izgotavlivaemyh metodom vakuumno-plenочноj formovki [Computer simulation of the flow characteristics of molten iron for castings manufactured by vacuum-film forming]. *Lit'e i metallurgija*. 2013. no. 1. pp. 77–82.
4. Lihouzov S. G., SACHEK O. A., Sobolev V. F., Matjushinec T. V., Chichko O. I. Modelirovanie statisticheskikh harakteristik techenija raspplavlenного metalla dlja rasshirjajushhihsja i suzhajushhihsja litnikovыh sistem s vysokim staticheskim naporom, ispol'zuemyh dlja vakuumno-plenочnyh form [Modeling the statistical characteristics of the flow of molten metal to expand and contract gating systems with high static pressure, used for vacuum-film form]. *Lit'e i metallurgija. Specvypusk*. 2013. pp. 36–41.

### Сведения об авторе

Чичко Александр Николаевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т. Независимости, 65. E-mail: chichko\_a\_n@mail.ru.

### Information about the authors

Chichko Aleksandr, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, Belarusian National Technical University, pr-t. Ne-zavisimosti, 65, Minsk, Belarus. E-mail: chichko\_a\_n@mail.ru.