



*The computer simulation of the characteristics of manufacturing technology of the iron casting «body» for different correlations of feeder, slag traps and riser, recommended for the molds obtained by vacuum-film forming is carried out. The volume evolution of filling of the casting is calculated and dependences of speed instability and its projections on period of filling in assigned points of the mold are established.*

А. Н. ЧИЧКО, Д. М. КУКУЙ, С. Г. ЛИХОУЗОВ, В. Ф. СОБОЛЕВ,  
Т. В. МАТЮШИНЕЦ, О. А. САЧЕК, О. И. ЧИЧКО, БНТУ

УДК 621.74

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧЕНИЯ РАСПЛАВА ЧУГУНА ДЛЯ ОТЛИВОК, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ПЛЕНОЧНОЙ ФОРМОВКИ

Развитие современного машиностроения требует непрерывного совершенствования литейного производства, перевода его в категорию безвредных, экологически безопасных производств при минимальных затратах энергетических, материальных и трудовых ресурсов. Одним из наиболее совершенных и универсальных способов литья является способ получения отливок в формах, изготавливаемых из сухого формовочного материала с применением вакуума и синтетической пленки [1, 2]. Главное отличие технологии вакуум-пленочной формовки от всех известных способов изготовления отливок в разовых песчаных формах заключается в том, что формовочная смесь не содержит связующего материала, а необходимые прочностные и размерные характеристики литейной формы достигаются путем создания разрежения в объеме формовочной смеси за счет применения герметизирующей синтетической пленки. При этом исключаются операции смесеприготовления и затраты на связующие материалы, резко сокращается расход формовочных песков, повышается качество и точность отливок.

Важнейшим вопросом при разработке технологии изготовления отливок методом вакуумной формовки является расчет конструкции литниково-питающей системы. Практика использования вакуумно-пленочных форм показывает, что литниковые системы, используемые при литье в песчаные формы, существенно отличаются от литниковых систем, которые могут использоваться при получении отливок методом вакуумно-пленочной формовки. Поэтому уровень оптимальности по массе литников и их протяженности в применении к различным отливкам для этих двух методов раз-

личается. В связи с этим методы моделирования и расчета процессов течения расплавов в литниковых системах для вакуумно-пленочных форм, развиваемые в данной работе, являются актуальными как для практики, так и теории вакуумно-пленочной формовки. Следует отметить, что для литниковых систем, разрабатываемых для вакуумно-пленочных форм, рекомендуются различные соотношения питателя, стояка и шлакоуловителя. В то же время вопрос, насколько эти соотношения универсальны для различных материалов и отливок, остается по-прежнему открытым. Наш опыт моделирования и расчета литниковых систем показывает, что для каждой отливки существует своя оптимальная конфигурация литников.

Цель работы – моделирование характеристик технологии изготовления чугунной отливки «Корпус» для различных соотношений  $F_{п} : F_{ш} : F_{с}$ . Для этого была выбрана отливка «Корпус» и для нее в соответствии с общими рекомендациями [3, 4] по параметрам литниковых систем были построены 3d-модели литниковых систем с разными соотношениями сечения питателя, шлакоуловителя и стояка соответственно  $F_{п} : F_{ш} : F_{с}$ , а именно 5:7:10; 8:12:10; 10:12:10; 15:18:10. Для всех четырех вариантов проведено моделирование процесса заполнения формы для чугунной отливки «Корпус». Для проведения расчетов использован модуль течения компьютерной системы «ПроЛит-1» [5, 6]. В качестве расплава был использован чугун СЧ10, имеющий следующие характеристики: удельная теплоемкость  $c_1 = 838$  Дж/(кг·°С); коэффициент теплопроводности  $\lambda_1 = 40$  Вт/(м·°С); плотность  $\rho_1 = 6900$  кг/м<sup>3</sup>;  $T_{лик} = 1238$  °С,  $T_{сол} = 1145$  °С,  $T_{зал} = 1400$  °С.

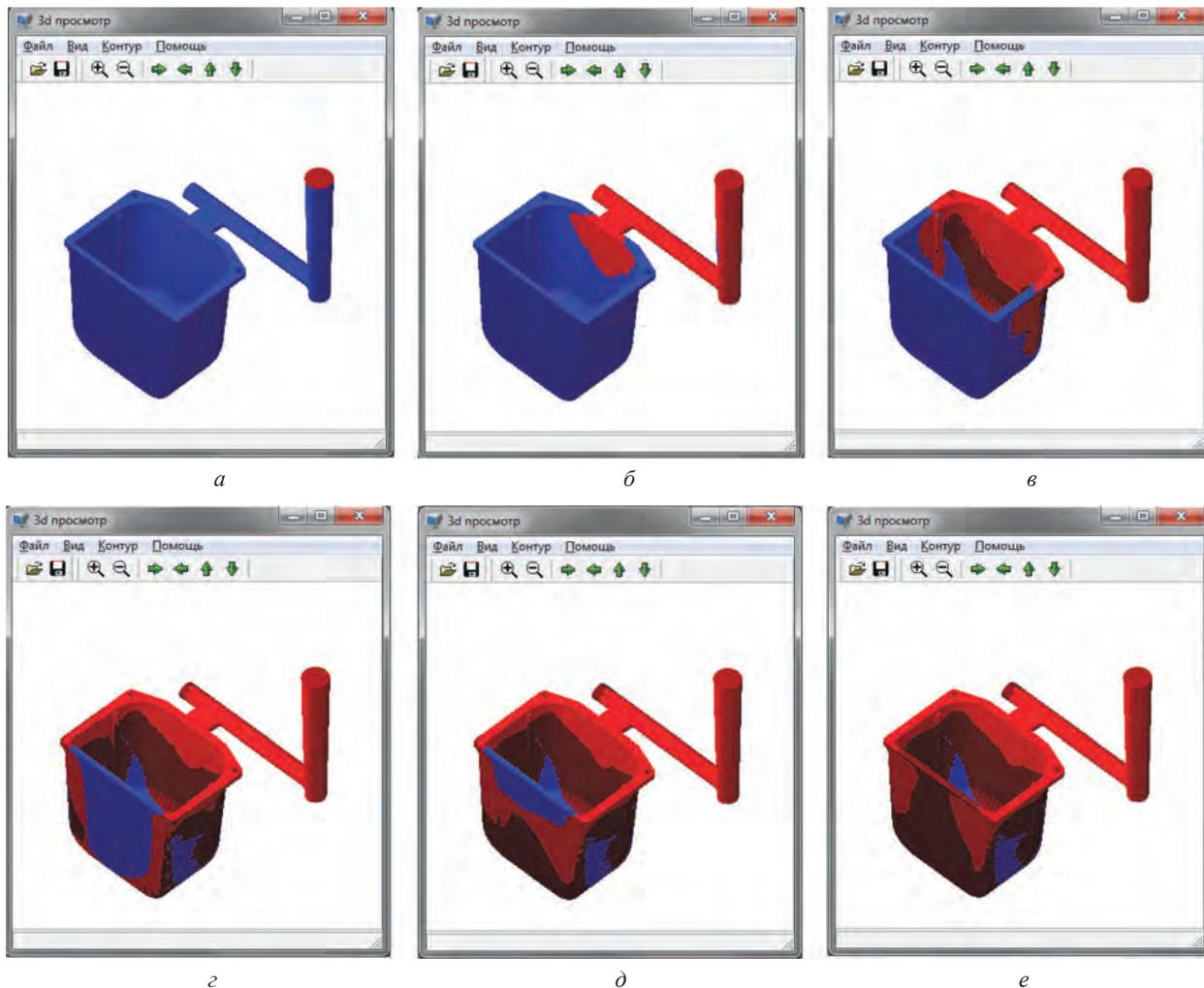


Рис. 1. Моделирование. Динамика заполнения чугунной отливки «Корпус» для варианта соотношения  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}} = 5:7:10$  для различных моментов времени: а – 0; б – 1 с; в – 2; г – 3; д – 4; е – 5 с

В качестве формы использовали песчаную смесь со следующими характеристиками: удельная теплоемкость  $c_2 = 120 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda_2 = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ; плотность  $\rho_2 = 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

На рис. 1 показана динамика заполнения чугунной отливки «Корпус» для одного из вариантов соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}} = 5:7:10$  для различных моментов времени. В результате проведенных исследований было установлено, что ни для одного из рассмотренных вариантов, имеющих различные соотношения питателя, шлакоуловителя и стояка (5:7:10; 8:12:10; 10:12:10; 15:18:10), не происходит полного заполнения отливки, что связано с высоким значением коэффициента теплопроводности песчаной смеси и, следовательно, с превышением скорости охлаждения металла по сравнению со скоростью заполнения отливки.

Следует отметить, что имеет место связь между площадью сечения шлакоуловителя и временем заполнения отливки, так как наиболее интенсивно заполнение происходит для первого варианта со-

отношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}} = 5:7:10$ , наименее интенсивно – для четвертого  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}} = 15:18:10$ . Кроме того, имеет значение площадь сечения стояка. В табл. 1 приведены сравнительные данные по объему недолива для четырех вариантов соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$ . Как видно из таблицы, объем недолива увеличивается от варианта соотношений 5:7:10 (объем недолива  $0,0328 \text{ м}^3$ ) к варианту соотношений 15:18:10 (объем недолива  $0,0609 \text{ м}^3$ ), что соответствует увеличению времени заполнения. Наблюдается тенденция к наилучшему заполнению металлом отливки при увеличении площади сечения шлакоуловителя по сравнению с площадью сечения питателя, а также при увеличении площади сечения стояка по сравнению с площадью сечения питателя.

Сравнительная таблица объема недолива для четырех вариантов соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$

Вариант соотношений $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$	Объем недолива, $\text{м}^3$
5:7:10	0,0328
8:12:10	0,0368
10:12:10	0,0416
15:18:10	0,0609

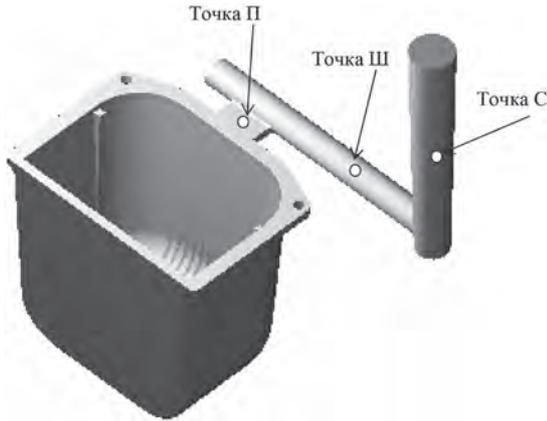


Рис. 2. Схематичное расположение точек исследования зависимости скоростей движения расплава от времени заливки: точка П (питатель); точка Ш (шлакоуловитель); точка С (стояк)

В ходе исследования была рассчитана эволюция изменения скоростей расплава в выделенных точках (рис. 2).

На рис. 3 представлена зависимость изменения скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугунной отливкой в выделенных точках для четырех вариантов соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$ . Как видно из рис. 3, а, характер изменения значений одинаков, а именно резкое возрастание в начале заливки, затем период 1–2 с наибольших значений и резкое убывание до 0,2–0,3 м/с. Следует отметить, что в области стояка для первого и второго вариантов соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$  характерен больший уровень значений скоростей течения расплава на 0,2 м/с, а убывание значений скоростей для первого и третьего вариантов соотношений происходит раньше, чем для остальных.

Для областей шлакоуловителя и питателя характерен другой вид изменения кривых, а именно резкое возрастание до 0,3–0,5 м/с, затем постепенное снижение до 0,28–0,35 м/с и резкий спад до нуля в последние секунды заливки. Причем для

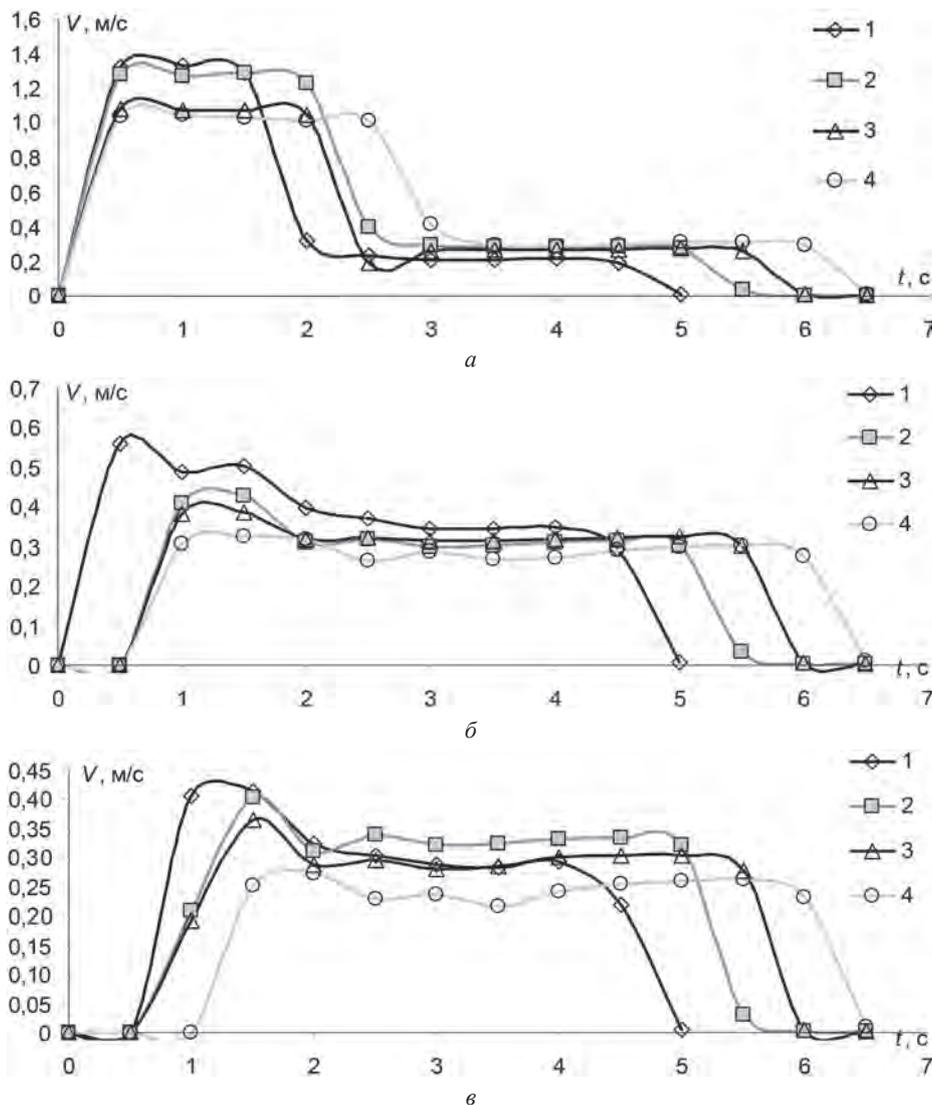


Рис. 3. Зависимость изменения скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугунной отливкой в выделенных точках для четырех вариантов соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$ : 1 – 5:7:10; 2 – 8:12:10; 3 – 10:12:10; 4 – 15:18:10; а – точка С (стояк); б – точка Ш (шлакоуловитель); в – точка П (питатель)

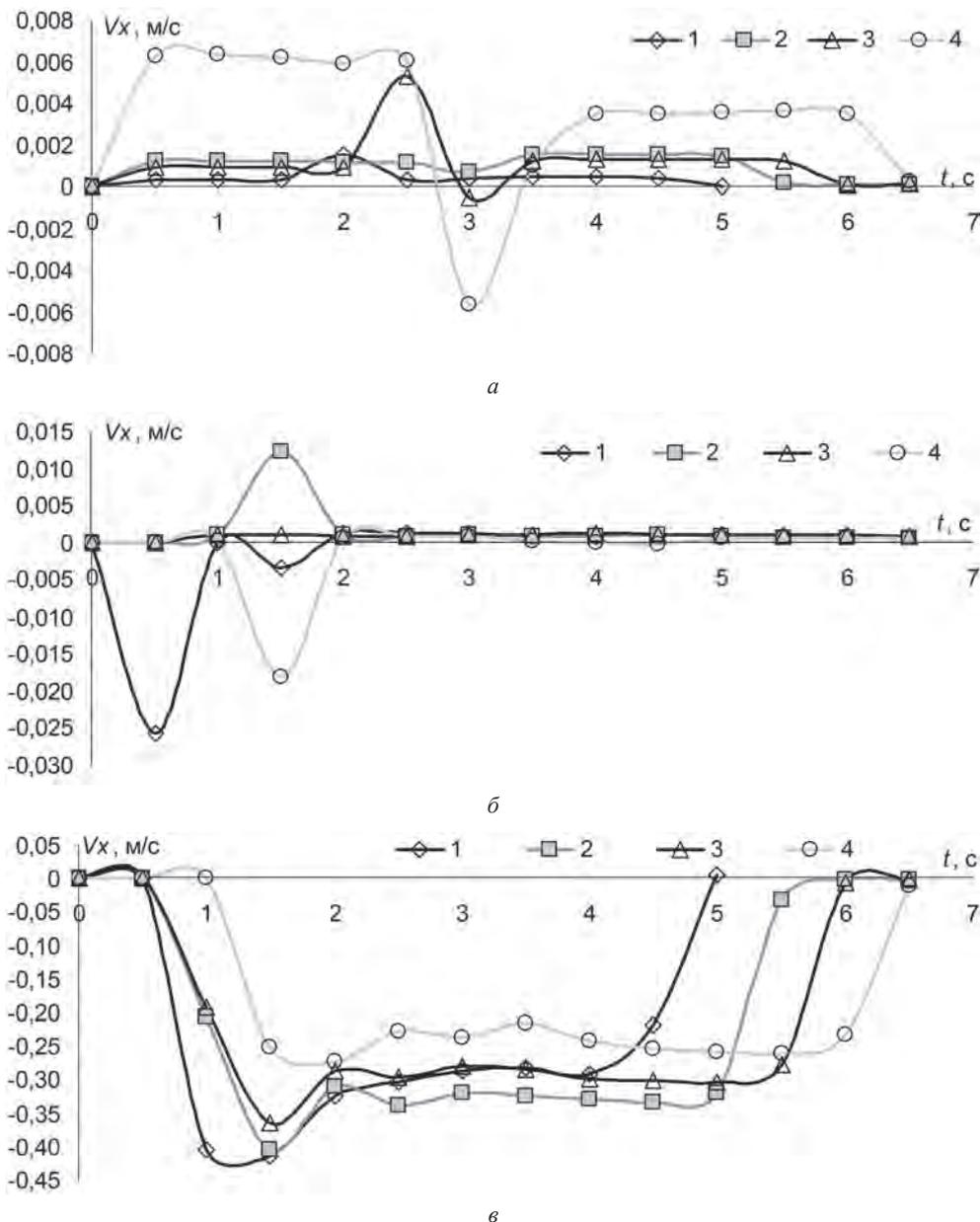


Рис. 4. Зависимость изменения проекций на ось  $X$  скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугуновой отливкой в выделенных точках для четырех вариантов соотношений  $F_{II} : F_{III} : F_C$ : 1 – 5:7:10; 2 – 8:12:10; 3 – 10:12:10; 4 – 15:18:10; а – точка С (стояк); б – точка Ш (шлакоуловитель); в – точка П (питатель)

четвертого варианта в области шлакоуловителя период постепенного снижения наиболее стабилен и колеблется пределах 0,28–0,31 м/с. Наиболее резкое снижение скорости наблюдается для первого варианта соотношений ( $F_{II} : F_{III} : F_C = 5:7:10$ ) с 0,58 /с до 0,28 м/с. Для области питателя можно заметить аналогичную картину: для четвертого варианта происходит не снижение значений скоростей, а колебание в пределах 0,24–0,27 м/с расплава, а для остальных вариантов снижение наблюдается до 2 с заливки и затем значения колеблются в узком диапазоне.

На рис. 4 представлена зависимость изменения проекции на ось  $X$  скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугуновой от-

ливкой в выделенных точках для четырех вариантов соотношений  $F_{II} : F_{III} : F_C$ . Как видно из рис. 4, в области питателя наиболее плавное изменение значений характерно для четвертого варианта соотношений  $F_{II} : F_{III} : F_C$ , наименее плавное – для первого варианта.

На рис. 5 показана зависимость изменения проекции на ось  $Y$  скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугуновой отливкой в выделенных точках для четырех вариантов соотношений  $F_{II} : F_{III} : F_C$ . Как видно из рисунка, в области стояка для первого и второго вариантов значений характерны меньшие значения на 0,2 м/с, чем для остальных. Раньше всего происходит убывание значений для первого варианта, позже – для четвертого.

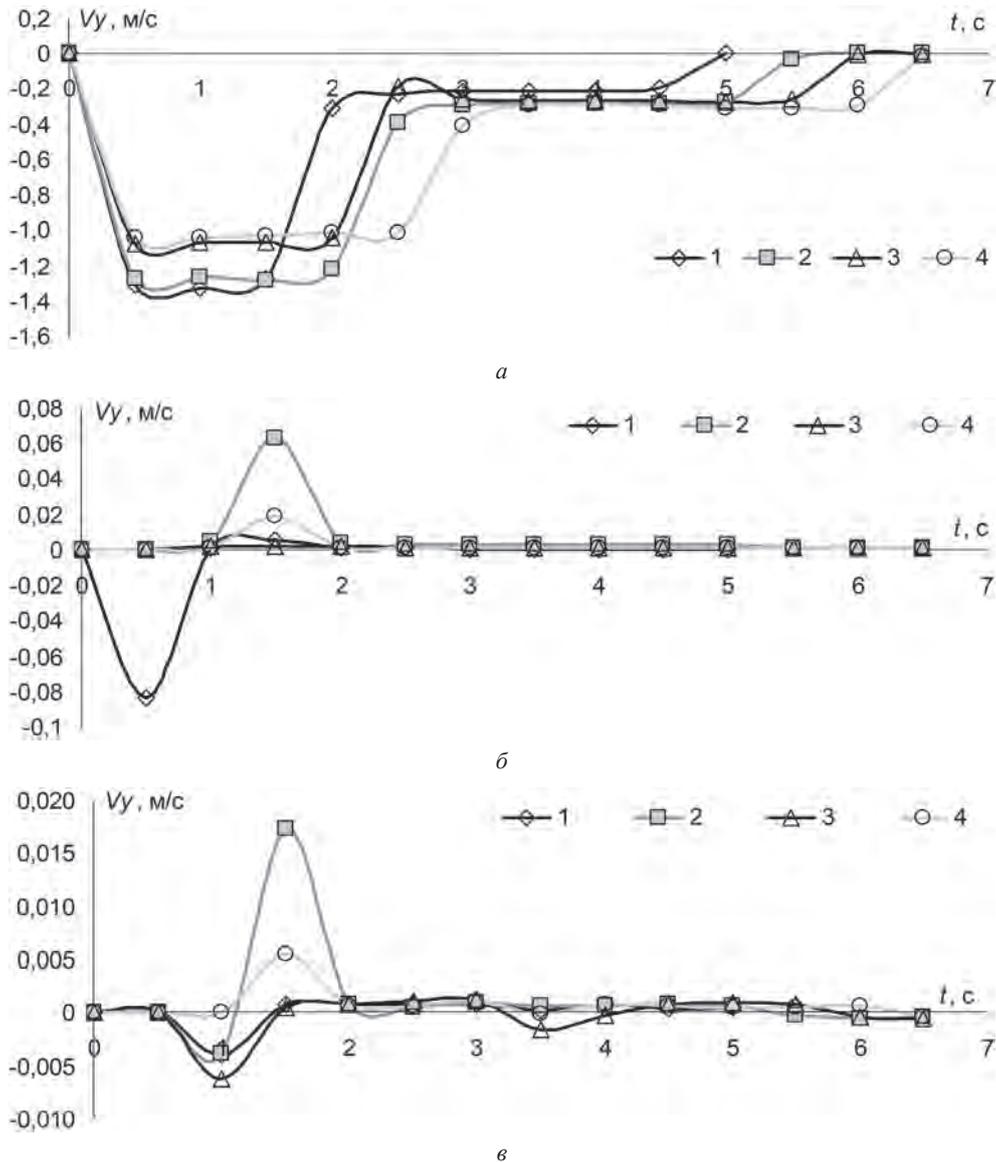


Рис. 5. Зависимость изменения проекций на ось  $Y$  скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугунной отливкой в выделенных точках для четырех вариантов соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$ : 1 – 5:7:10; 2 – 8:12:10; 3 – 10:12:10; 4 – 15:18:10; а – точка С (стояк); б – точка Ш (шлакоуловитель); в – точка II (питатель)

На рис. 6 показана зависимость изменения проекции на ось  $Z$  скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугунной отливкой в выделенных точках для четырех вариантов соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$ . Как видно из рисунка, наибольшие значения скоростей достигаются в шлакоуловителе, что связано с ориентацией литниковой системы в пространстве, причем максимальные значения скоростей характерны для первого варианта литниковой системы.

**Выводы**

Проведено моделирование характеристик технологии изготовления чугунной отливки «Корпус» для различных соотношений  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$ , рекомендованных для форм, получаемых методом вакуумно-пленочной формовки. Рассмотрены четыре ва-

рианта изготовления литниковой системы для чугунной отливки «Корпус» с различными соотношениями  $F_{\text{п}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}}$ , а именно 5:7:10; 8:12:10; 10:12:10; 15:18:10. Результаты расчетов показали, что динамика заполнения формы зависит от соотношения геометрических размеров питателя, шлакоуловителя и стояка. Установлено, что изменение абсолютных значений и проекций на оси  $X, Y, Z$  скоростей расплава носит различный характер для рассматриваемых вариантов. В области стояка для первого и второго вариантов характерен большой уровень абсолютных значений скорости, чем для остальных вариантов, а в области питателя наиболее плавное изменение значений характерно для четвертого варианта соотношений, наименее плавное – для первого варианта.

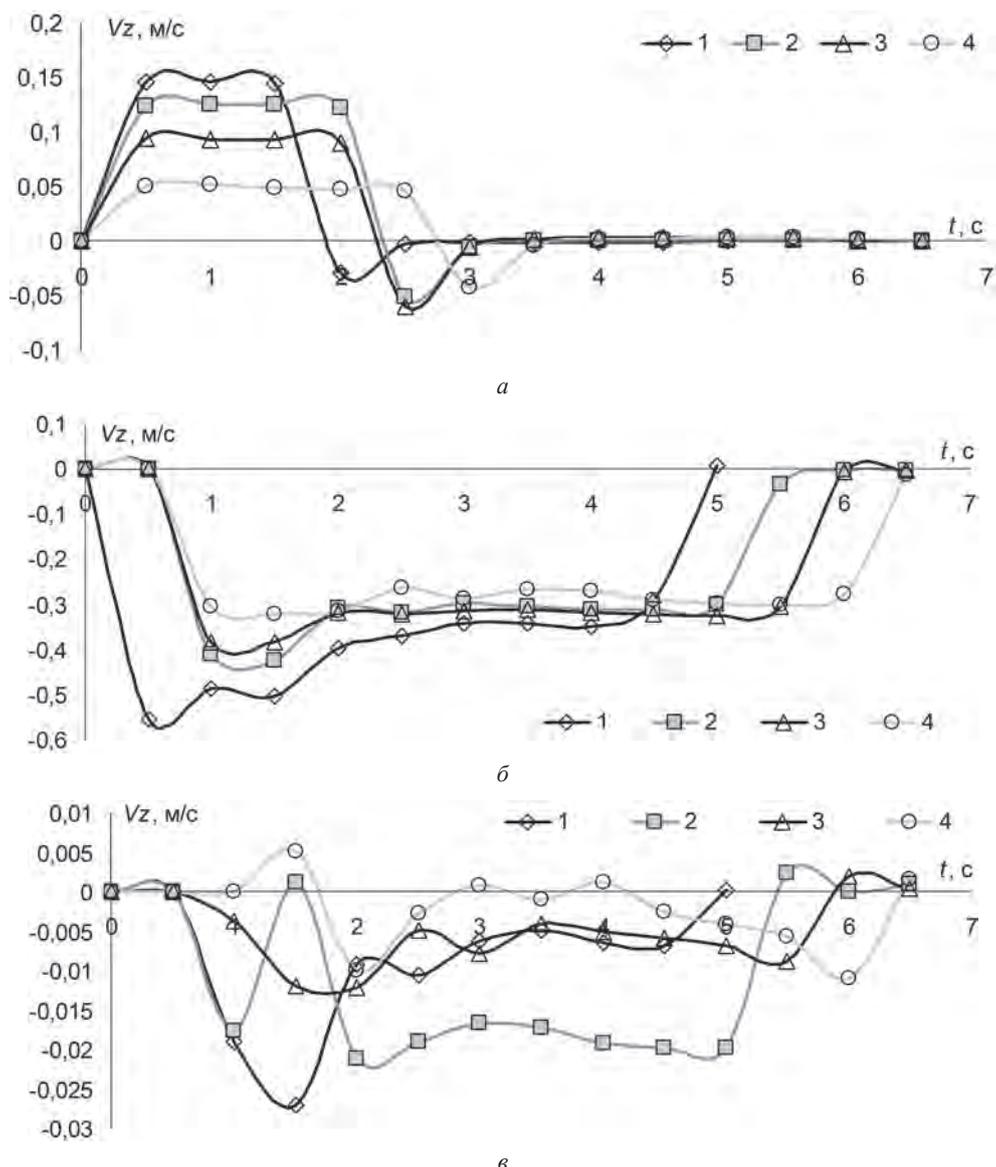


Рис. 6. Зависимость изменения проекций на ось Z скоростей расплава от времени заливки для литниковой системы с чугунной отливкой в выделенных точках для четырех вариантов соотношений  $F_n : F_{ш} : F_c$ : 1 – 5:7:10; 2 – 8:12:10; 3 – 10:12:10; 4 – 15:18:10; а – точка С (стояк); б – точка Ш (шлакоуловитель); в – точка П (питатель)

### Литература

1. Сравнительный анализ технико-экономической эффективности различных видов формообразования при изготовлении крупных стальных отливок / В. П. Кузнецов [и др.] // Литейное производство. 2004. № 8. С. 12–14.
2. Брак отливок, изготавливаемых в вакуум-пленочных формах, и меры по его предупреждению / В. В. Иванов [и др.] // Литейное производство. 2005. № 5 С. 20–22.
3. В е р н и н г Х. Технология вакуум-пленочной формовки для производства высококачественных отливок / Х. Вернинг, Ф. Вебер // Литейное производство. 2004. № 10. С. 10–13.
4. Б у д а н о в Е. Н. Выбор технологии изготовления крупных стальных отливок для железнодорожного вагонного парка / Е. Н. Буданов // Литейное производство. 2004. № 8. С. 15–17.
5. Ч и ч к о А. Н., Л и х о у з о в С. Г. Клеточно-автоматное моделирование процесса течения расплава в форме / А. Н. Чичко, С. Г. Лихозов // Доклады НАН Беларуси. 2001. Т. 45. № 4. 2001. С. 110–114
6. Ч и ч к о А. Н., С о б о л е в В. Ф., Л и х о у з о в С. Г. Компьютерная система «ПроЛит» – инструмент для повышения качества / А. Н. Чичко, В. Ф. Соболев, С. Г. Лихозов // ТЭО. 2001. № 6. С. 30–31.