

УДК 669.74

Поступила 21.11.2017

## ОПТИМИЗАЦИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ЛИТНИКОВО–ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

## OPTIMIZATION OF THE HYDRODYNAMICS OF GATING–FEEDING SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH THE USE OF NEURO NETWORKS METHODS OF CLASSIFICATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS

*И. Б. ОДАРЧЕНКО, В. А. ЖАРАНОВ, И. Н. ПРУСЕНКО, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября, 48. E-mail: oda2009@gmail.com*

*I. B. ODARCHENKO, V. A. ZHARANAU, I. N. PRUSENKO, Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: oda2009@gmail.com*

*Представлена методика оптимизации проектирования литниково-питающих систем на основе автоматизированного алгоритма классификации технологической сложности отливок.*

*The method of optimizing the design of gating-feeding systems on the basis of the automated classification algorithm of technological complexity of the casting is presented.*

**Ключевые слова.** Литниковые системы, турбулентность, классификация, оптимизация, гидродинамика, технологическая сложность изготовления.

**Keywords.** The gating systems, turbulence, classification, optimization, hydrodynamics, process manufacturing complexity.

В настоящий момент практически не существует программных продуктов и промышленно апробированных методик рационального выбора базовых характеристик литниково-питающих систем, позволяющих параметрически формировать модель литниковых каналов с близкими к оптимальным гидравлическим характеристикам и удовлетворяющим заданным технологическим возможностям производства.

Индивидуальность конструкции литниково-питающих систем (ЛПС) связана со спецификой геометрии отливки, технологическими особенностями формообразования и, в конечной степени, обусловлена необходимостью создания определенных гидродинамических условий движения расплава в период заполнения и при питании тела отливки.

Решение проблемы классификации и выбора параметров литниково-питающей системы может быть выполнено с использованием методов нейронных сетей. При классификации отливок нейронная сеть обучается по важнейшим параметрам технологии, таким, как характеристики 3d-модели геометрии отливки, особенностям заполнения формы расплавом, требованиям к качеству изготовления и допускаемым дефектам. В процессе обучения особенности, отличающие отливки друг от друга, составляют информационную базу для принятия решений о назначении отливок соответствующим классам. Информация о каждой отливке представлена в виде вектора конструктивных и технологических характеристик, которые наиболее достоверно соответствуют требованиям моделирования нейронной сети.

В классической постановке комплекс технологических требований к литниково-питающим системам (ЛПС) включает:

- обеспечение оптимального режима заполнения формы ( $R_o = f(V_o)$ );
- обеспечение заданного давления газов во всех сечениях ЛПС ( $P_{лпс} \geq P_{атм}$ );
- обеспечение минимальной для установленного расхода скорости выхода металла из питателя

$V_{пит} \rightarrow V_{мин}$ ;

- обеспечение скорости течения расплава в песчано-глинистой форме до 1 м/с, а в местах непосредственного контакта со стенками формы до 0,75 м/с.

- ЛПС должна максимально аккумулировать неметаллические включения и газы ( $M_{\text{вкл}} \rightarrow 0$ );
- расход металла на конструкцию ЛС должен быть минимальным ( $M_{\text{лпс}} \rightarrow 0$ ).

Перечисленные требования являются во многом противоречивыми с точки зрения возможностей их реализации. Поэтому выполнение на практике является сложной оптимизационной задачей литейной гидравлики, включающей большой набор параметров, взаимосвязанных и зачастую действующих в противоположных направлениях. Эффективность и успешность решения подобных задач в значительной мере определяется технологичностью отливки. Как правило, для каждой отливки конструкция литниковой системы и систем питания отливок может быть многовариантной. Однако следует отметить, что с ростом технологической и геометрической сложности уменьшается количество возможных эффективных вариантов и усложняется конструкция ЛПС. При этом, очевидно, существует интуитивно понятная закономерность, когда отливки геометрически и технологически более сложной конструкции требуют применения более сложных и соответственно массивных ЛПС.

Многокритериальная оценка технологической сложности может служить основой для выбора способа проектирования литниково-питающих систем и степени проработки вопросов литейной гидравлики методами математического моделирования. На практике она определяется достаточно приближенно, основываясь на общепринятых теоретических подходах и, безусловно, опираясь на опыт технолога. При этом тенденция к автоматизации производственных процессов литья, переход на сквозное цифровое проектирование в рамках внедрения интегрированных CAD-, CAM- и CAE-систем требуют новых подходов к автоматизации проектирования литейной технологии, в частности, ЛПС.

В применении нейронных сетей в практических задачах возникает ряд проблем, поскольку заранее не известно, какой сложности (размера) может потребоваться сеть для достаточно точной реализации классификационной задачи. Эта сложность может оказаться чрезмерно высокой, что потребует сложной архитектуры сетей. Простейшие однослойные нейронные сети способны решать только линейно разделимые задачи. Это ограничение преодолимо при использовании многослойных нейронных сетей. В общем виде можно сказать, что в сети с одним скрытым слоем вектор, соответствующий входному образцу, преобразуется скрытым слоем в некоторое новое пространство, которое может иметь другую размерность, а затем гиперплоскости, соответствующие нейронам выходного слоя. Таким образом, сеть распознает не только характеристики исходных данных, но и «характеристики характеристик», сформированные скрытым слоем.

Для построения классификатора необходимо определить, какие параметры влияют на принятие решения о том, к какому классу принадлежит образец. Для оценки технологической сложности изготовления отливок предлагается методика с выделением следующих групп оценочных параметров, влияющих на технологическую сложность изготовления отливок (рис. 1):

- A* – группа сложности по толщине стенок ( $C_T$ );
- B* – группа конфигурационной сложности ( $C_K$ );
- C* – группа сложности по эксплуатационным требованиям ( $C_3$ );
- D* – группа сложности по размерным параметрам виртуальной геометрической модели ( $C_B$ );
- E* – группа сложности по материалу отливки ( $C_M$ );
- F* – группа сложности по симметричности конструкции отливки ( $C_C$ );
- G* – группа сложности по допускаемым дефектам ( $C_D$ ).

На наш взгляд, комплекс обозначенных параметров позволяет наиболее полно оценить технологическую сложность изготовления отливок. При работе со специализированными пакетами программ для расчета и проектирования литейных технологий указанная группа параметров может быть рассчитана автоматически, по данным трехмерной модели отливки с дополнением за счет ввода данных с использованием программных анкет.

Например, при определении средневзвешенной толщины стенки (тонкостенности) (рис. 2) литой детали предлагается выполнять анализ с использованием программного обеспечения GeometricGeomCaliper (ОС Linux), которое позволяет оценить толщину стенок как сумму произведений площади поверхности с характерной толщиной, умноженной на усредненный процент площади отливки, к которому данное значение толщины относится:

$$\delta_{\text{ср}} = \Sigma(L_i \delta_i). \quad (1)$$

Коэффициенты X1–X7 учитывают технологические особенности формовочных процессов и специфику литейных форм и определяются по результатам сопоставления весовых коэффициентов в зависимости от способа получения отливок (табл. 1).



Рис. 1. Группы параметров оценки технологической сложности отливки/литейной технологии

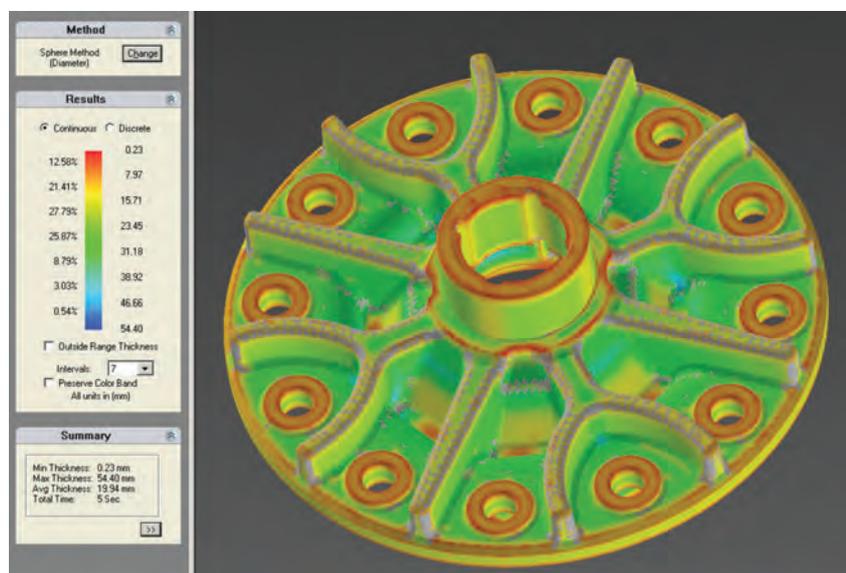


Рис. 2. Автоматизация расчета тонкостенности

Т а б л и ц а 1. Экспериментальный коэффициент для интегральной оценки технологической сложности отливок

Технологический способ получения отливок	Коэффициент						
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Автоматическая формовочная линия (АФЛ) (уплотнение воздушным потоком с последующим прессованием)	0,73	0,64	0,74	0,68	0,68	0,64	0,87
Автоматическая формовочная линия (АФЛ) (уплотнение прессованием)	1,1	1,4	1,14	0,85	1,13	1,34	0,72
Автоматическая формовочная линия (АФЛ) (уплотнение встряхиванием)	1,06	1,31	0,77	0,69	1,46	0,26	0,4
Вакуумная формовка	1,03	1,13	1,39	1,25	1,1	0,26	1,65

Суммарное количество баллов по всем группам сложности можно рассчитать по формуле:

$$C^{\Sigma} = (X1 \cdot C_T) + (X2 \cdot C_K) + (X3 \cdot C_3) + (X4 \cdot C_B) + (X5 \cdot C_M) + (X6 \cdot C_C) + (X7 \cdot C_D). \quad (2)$$

При такой оценке предлагается выделить шесть групп сложности отливок с соответствующим интервалом суммарных баллов (табл. 2).

Нами предложен следующий алгоритм построения классификатора на основе нейронных сетей.

1. Работа с данными. Составить базу данных из примеров, характерных для данной задачи.
2. Разбиение всей совокупности данных на два множества: обучающее и тестовое (возможно разбиение на три множества: обучающее, тестовое и подтверждающее).

Таблица 2. Группа сложности литых деталей

Суммарное количество баллов сложности $C^{\Sigma}$	≤6	Свыше 6 до 12	Свыше 12 до 16	Свыше 16 до 20	Свыше 20 до 24	Свыше 24
Группа сложности литых деталей	1	2	3	4	5	6

3. Предварительная обработка. Выбор системы признаков, характерных для данной задачи, и преобразование данных соответствующим образом для подачи на вход сети (нормировка, стандартизация и т. д.). В результате желательно получить линейно отделяемое пространство множества образцов. Выбрать систему кодирования выходных значений.

4. Конструирование, обучение и оценка качества сети.

5. Выбор топологии сети: количество слоев, число нейронов в слоях и т. д.

6. Выбор функции активации нейронов (например, «сигмоида»).

7. Выбор алгоритма обучения сети.

8. Оценка качества работы сети на основе подтверждающего множества или по иному общему критерию.

9. Оптимизировать архитектуру (уменьшение весов, прореживание пространства признаков). Остановиться на варианте сети, который обеспечивает наилучшую способность к обобщению, и оценить качество работы по тестовому множеству.

Для всех выделенных групп отливок нерешенной проблемой проектирования ЛПС является проблема создания литейных каналов с минимальным гидравлическим сопротивлением, препятствующим образованию турбулентности потоков жидкого металла (рис. 3, 4).

С этой точки зрения недостатки известных литниковых систем обусловлены сложным характером течения расплава, особенно в начале заливки. Турбулизацию потоков металла вызывают профильные каналы и угловые переходы с резким изменением векторов скоростей и ускорения расплава. Для уменьшения турбулентности важное значение имеет снижение максимальной скорости потока и выбор рациональных геометрических форм гидравлического соединения элементов литниковой системы между собой. Решение этой проблемы ранее было фактически труднодостижимым в массовом производстве отливок, поскольку плавность, обтекаемость контуров литниковых систем требуют применения сложных механообрабатывающих станков. Тем не менее, с массовым появлением в литейных цехах станков с числовым программным управлением (ЧПУ) общий подход к проектированию и изготовлению ЛПС практически не изменился. Соответственно требуется создание методики выбора и оптимизации литниковых систем, в которой будут отражены современные инструментальные возможности отделений подготовки оснастки.

После проведения общей классификации отливки расчетный коэффициент сложности ( $C^{\Sigma}$ ) и конкретные значения по группам А–G, по нашему мнению, могут быть использованы для автоматического

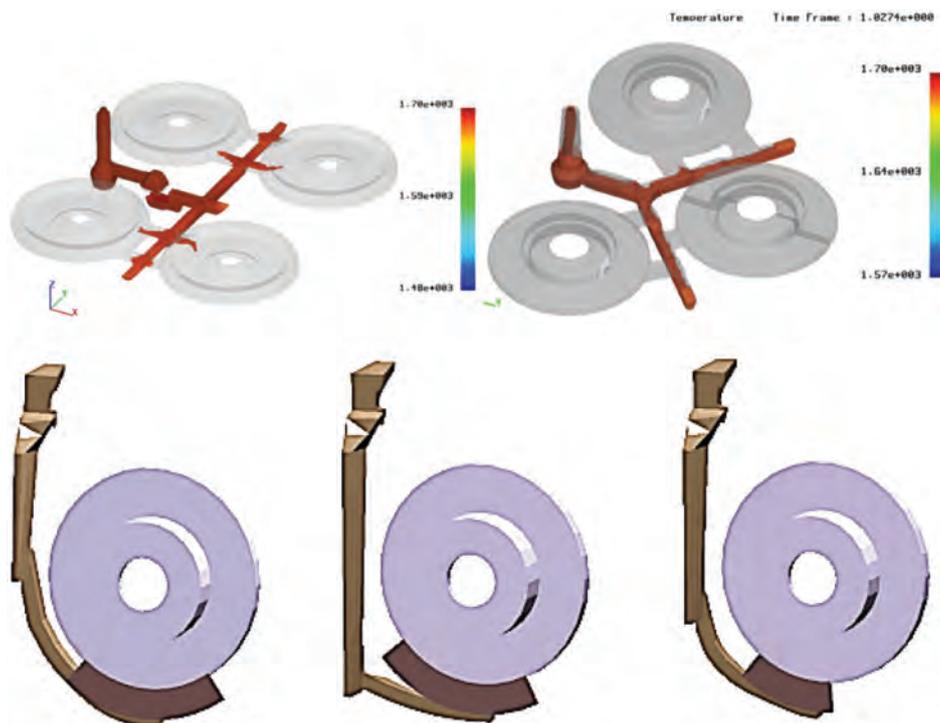


Рис. 3. Примеры литниковых систем с минимизацией турбулентности

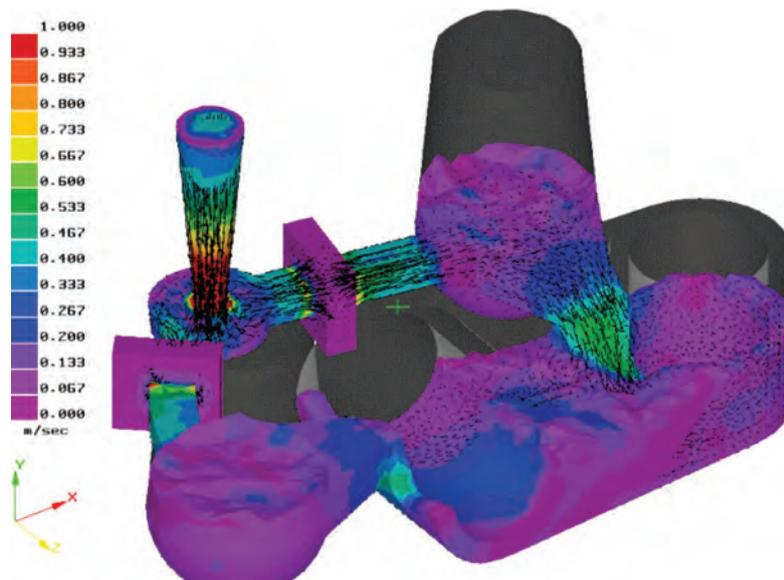


Рис. 4. Компьютерное моделирование векторной картины распределения потоков в ЛПС сложной конструкции

определения уровня проектной задачи. При этом задачи первого уровня предполагают применение классических общепринятых подходов проектирования.

Задачи второго уровня предполагают создание системы литниковых каналов с минимизацией турбулентности за счет использования геометрически гладких образующих и переходов от сечения к сечению без резких поворотов и остроугольных кромок.

Третий уровень проектирования предполагает дополнительную проработку решений по принудительной фильтрации расплава, выбору режимов улавливания шлаковых частиц и расчетом параметров межфазного взаимодействия (в гетерогенных системах типа «газ-металл», «газ-литейная форма-стержень» и т. д.). Этот уровень проектирования основан на технологии верификации проектного решения с использованием системы планирования вычислительных экспериментов, для которой используется параметризованное описание геометрии ЛПС.

Приведенные в формуле (2) коэффициенты могут быть использованы как базовые критерии для оценки:

- а) необходимой детализации проработки конфигурации элементов ЛПС;
- б) необходимого уровня верификации проекта с использованием математического моделирования динамики заполнения отливки;
- в) технологических параметров заливки и необходимого качества металла для конкретной отливки.

В качестве инструментального оформления экспертной системы для автоматического определения уровня проектной задачи может выступать комплекс из нескольких нейронных сетей [1–3], построенный по результатам обучения на опытных отливках.

## Литература

1. Горбань А. Н. Решение задач нейронными сетями // Нейроинформатика. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998.
2. Ежов А. А., Шумский С. А. Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе. М.: МИФИ, 1998.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польск. И. Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2002.

## References

1. Gorban A. N. Reshenie zadach neuronnyimi setiami [The solution of problems of neural networks]. *Neuroinformatika = Neuroinformatics*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1998.
2. Ezhov A. A., Shumsky S. A. *Neirokompiuting i ego primenenie v ekonomike i biznese* [Neurocomputing and its application in Economics and business]. Moscow, MEPhI Publ., 1998.
3. Osovski S. *Neironnye seti dya obrabotki informatsii* [Neural networks for information processing]. Moscow, Finansy i Statistika Publ., 2002.