

УДК 621.74

ОБЗОР МЕТОДИК РАСЧЕТА ПРИБЫЛЕЙ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Дарья Александровна Бондарчук

Студентка 6 курса,
кафедра «Литейные технологии»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А. Ю. Коротченко,
к.т.н., доцент кафедры «Литейные технологии»

Вопрос, связанный с обеспечением направленного затвердевания отливки является ключевым в разработке технологии. Правильный выбор конфигурации, места установки и расчет прибылей обеспечивает получение плотных отливок с требуемым уровнем технологических свойств, позволяет снизить брак отливок и как следствие себестоимость литья и повысить конкурентоспособность производства.

В настоящее время известно большое количество инженерных методик расчета прибылей. Некоторые методики характеризуются универсальностью применения, некоторые применимы к конкретным сплавам и конфигурациям прибылей. В основе большинства методик лежат зависимости, найденные эмпирическим или полуэмпирическим методами. Сравним методики, нашедшие наибольшее применение в настоящее время, на примере отливок запорной арматуры. Сравнение методик будем проводить по объему прибыли для 10 тепловых узлов.

В основном тепловые узлы отливок запорной арматуры имеют форму кольца. Поэтому в качестве тепловых узлов, для которых будут производиться расчеты прибылей, примем полый цилиндр с соотношением $\frac{d}{D} = 0,6$; $\frac{H}{D} = 0,15$.

Сплав: высоколегированная сталь аустенитного класса 12X18H9ТЛ.

Рассматриваемые типы прибыли: призматическая закрытая прямая, цилиндрическая закрытая отводная, призматическая открытая прямая.

Для каждого теплового узла вычислим объем ($V_{\text{тепл.узла}}$), площадь охлаждаемой поверхности ($S_{\text{охл.пов.}}$), приведенный размер (R), массу (M). Исходные данные для тепловых узлов приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для тепловых узлов.

№ п.п.	Геометрические размеры, мм			$V_{\text{тепл.узла}}, \text{мм}^3$	$S_{\text{охл.пов.}}, \text{мм}^2$	$R, \text{мм}$	$M, \text{кг}$
	D	d	H				
1	100	60	15	75 360	12 560	6	0,6
2	125	75	18,75	147 187,5	19 625	7,5	1,16
3	150	90	22,5	254 340	28 260	9	2,01
4	175	105	26,25	403 882,5	38 465	10,5	3,19
5	200	120	30	602 880	50 240	12	4,76
6	225	135	33,75	858 397,5	63 585	13,5	6,78
7	250	150	37,5	1 177 500	78 500	15	9,3
8	275	165	41,25	1 567 252,5	94 985	16,5	12,38
9	300	180	45	2 034 720	113 040	18	16,07
10	325	195	48,75	2 586 967,5	132 665	19,5	20,44

Метод Пржибля

Данная методика является эмпирической. Объем прибыли рассчитывается по уравнению:

$$V_{\text{прибыли}} = \frac{\varepsilon_{V\Sigma} \cdot k_{\Pi}}{1 - \varepsilon_{V\Sigma} \cdot k_{\Pi}} \cdot V_{\text{узла}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{прибыли}}$ - объем прибыли, мм³;
 k_{κ} - коэффициент, определяемый числом питаемых отливок от одной прибыли;
 k_p - коэффициент превышения размера прибыли над размером отливки;
 k_{ϕ} - коэффициент формы локальной прибыли;
 k_{Π} - коэффициент соотношения сторон сечения;
 k_v - коэффициент высоты прибыли;
 k_{Π} - коэффициент прибыли;

Положительной стороной данного метода является его простота и универсальность. По методике Пржибля можно рассчитывать все основные виды прибылей, включая теплоизолированные и обогреваемые, а также выбирать в известных пределах конфигурацию прибылей ($\frac{H}{D} = 1 \dots 1,5$).

Метод Р. Намюра, Я.И. Шкленника

Данная методика является полуэмпирической. В основу расчета положена формула Р. Намюра, которая была преобразована для инженерных расчетов Я. И. Шкленником к виду:

$$V_{\text{пр}} = m \xi R_{\text{узла}}^3 (1 + \beta)^3 YZ + 3\beta \cdot (1 + 3 \cdot l_{\text{лин}}) \cdot V_{\text{отл}}, \quad (2)$$

где m - коэффициент неидентичности температуры металла в отливки прибыли к моменту завершения заполнения литейной формы;
 $\xi = \frac{F_{\text{пр}}^3}{V_{\text{пр}}^2}$ - безразмерный коэффициент, характеризующий конфигурацию прибыли;
 β - объемная усадка сплава, %/100;
 $Y = \frac{\tau_{\text{э.т.у.}}}{\tau_{\text{э.пр.}}}$ - безразмерный коэффициент, учитывающий относительную продолжительность времени затвердевания;
 $Z = \frac{b_{\text{ф.пр.}}}{b_{\text{ф.т.у.}}}$ - безразмерный коэффициент, характеризующий тепловое состояние прибыли и теплового узла;
 $R_{\text{т.у.}}$ - приведенный размер теплового узла;
 $\tau_{\text{э.т.у.}}, \tau_{\text{э.пр.}}$ - относительная продолжительность затвердевания соответственно теплового узла отливки и прибыли в зависимости от конфигурации при близких модулях;
 $b_{\text{ф.т.у.}}, b_{\text{ф.пр.}}$ - теплоаккумулирующая способность формы, контактирующая соответственно с тепловым узлом и прибылью.

Первый член уравнения отвечает условию позднего затвердевания прибыли по сравнению с тепловым узлом отливки, а второй соответствует максимально необходимому запасу расплава в прибыли, необходимого для компенсации усадки. Формула (2) позволяет определить размеры прибылей отливок любой конфигурации, из любых сплавов и для всех способов литья кроме литья под давлением.

«Американская» методика

Приведенная ниже методика относится также к эмпирическому типу. В основу расчета объема теплового узла положен принцип Грум-Гржимайло, заключающийся в более позднем затвердевании прибыльной части отливки по сравнению с тепловым узлом.

$$V_{\text{прибыли}} = 2,15 \cdot V_c \cdot S_F^{-0,74}, \quad (3)$$

где $S_F = \frac{L+W}{T}$ – фактор формы;

L – условная длина теплового узла;

W – условная ширина теплового узла;

T – условная высота теплового узла;

$L_c = L \cdot W \cdot T$ – условный объем теплового узла.

На основании данной зависимости разработана номограмма, упрощающая вычисления.

Упрощенный метод УЗТМ

Ориентировочно размеры прибылей стальных отливок с соотношением максимальной толщины стенки к минимальной не более 1,2...2 можно определить по формулам, разработанными УЗТМ.

$$D_{\text{пр}} = (0,4 \dots 0,45) \cdot \sqrt[3]{V_{\text{ж}}} + T \quad (4.1)$$

$$H_{\text{пр}} = (1,05 \dots 1,10) \cdot D_{\text{пр}}, \quad (4.2)$$

где $D_{\text{пр}}$, мм – диаметр шаровой прибыли или диаметр окружности, вписанной в вертикальное сечение конической/призматической прибыли;

T, мм – толщина стенки отливки;

$H_{\text{пр}}$, мм – высота прибыли;

$V_{\text{ж}} = \frac{100 \cdot M}{7 \cdot \eta}$, мм³ – объем жидкого металла, необходимого для изготовления отливок совместно с прибылями;

M, кг – масса питаемого узла;

η – технологический выход годного.

Данный метод имеет ограничения по конфигурации прибылей и принципу действия, сплаву. Применима к коническим или шаровым прибылям закрытого типа для стальных отливок.

Метод П.Ф.Василевского

Определение размеров прибыли производится по номограммам, составленным на основании экспериментальных данных для различных типов сталей и конфигураций прибылей.

Таблица 2. Результаты для закрытых отводных цилиндрических прибылей

№ п.п.	Метод Пржибля	Метод Намюра-Шкленника	«Американская» методика	Упрощенный метод УЗТМ	Метод Василевского	Усредненные значения по методикам
	I	II	III	IV	V	VI
1	50 240	38 988	35 439	16 599	31 348	34 523
2	98 125	76 149	69 218	32 420	61 228	67 428
3	169 560	131 586	11 609	56 022	105 802	116 516

4	269 255	208 954	189 934	88 961	168 010	185 023
5	401 920	311 908	283 517	132 794	250 790	276 186
6	572 265	444 104	403 680	189 076	357 082	393 241
7	785 000	609 196	553 745	259 364	489 825	539 426
8	1 044 835	810 840	737 035	345 213	651 957	717 976
9	1 356 480	1 052 691	956 872	448 181	846 418	932 128
10	1724645	1 338 404	1 216 579	569 823	1 076 146	1 185 119

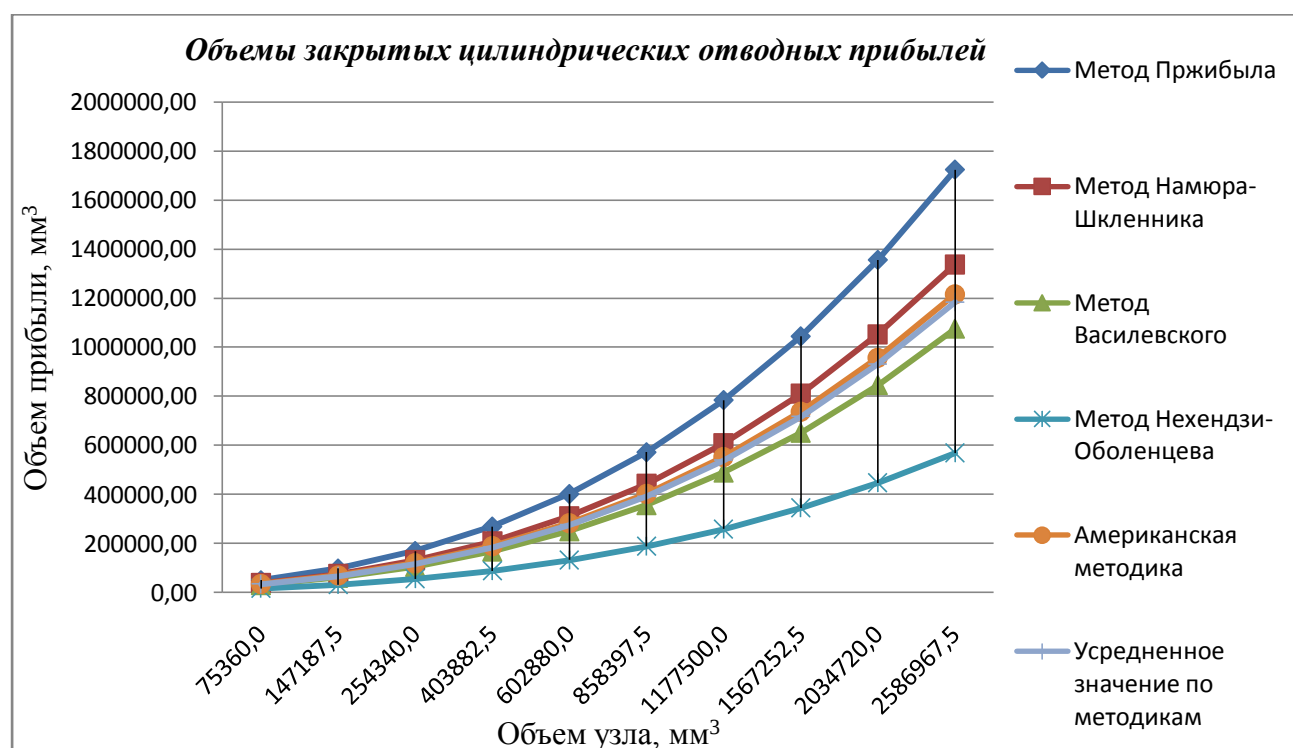


Рис.1. Объемы закрытых цилиндрических отводных прибылей

Таблица 3. Результаты для закрытых прямых призматических прибылей

№ п.п.	Метод Пржибыла	Метод Намюра-Шкленника	«Американская» методика	Упрощенный метод УЗТМ	Метод Василевского	Усредненные значения по методикам
	I	II	III	IV	V	VI
1	50 240	27 552	35 440	37 723	31 858	36 563
2	98 125	53 813	69 218	73 679	62 224	71 412
3	169 560	92 989	119 609	127 317	107 523	123 399
4	269 255	147 662	189 935	202 175	170 743	195 954
5	401 920	220 417	283 518	301 790	254 870	292 503
6	572 265	313 835	403 681	429 697	36 289	416 474
7	785 000	430 501	553 746	589 434	497 794	571 295
8	1 044 835	572 996	737 035	784 536	662 564	760 393
9	1 356 480	743 904	956 872	1 018 541	860 188	987 197
10	1 724 645	945 808	1 216 579	1 294 986	1 093 654	1 255 134

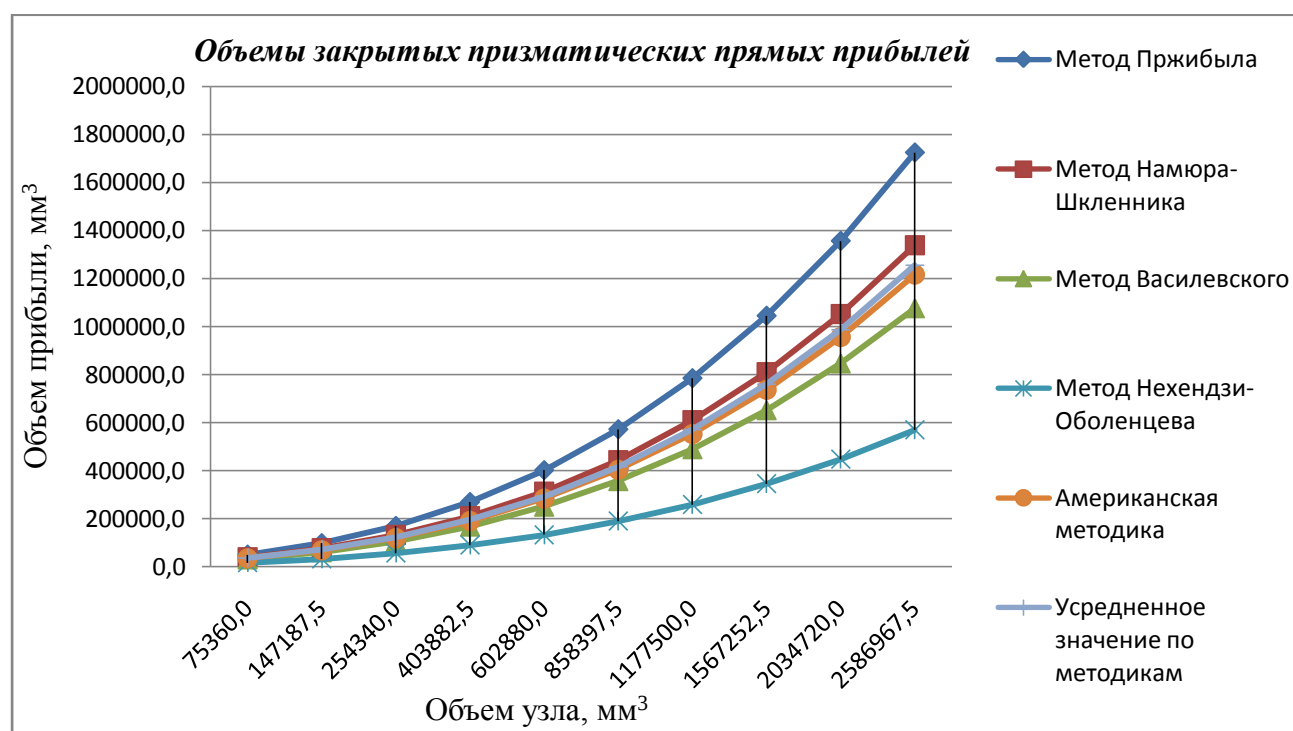


Рис.2. Объемы закрытых призматических прямых прибылей

Таблица 4. Результаты для открытых прямых призматических прибылей

№ п.п.	Метод Пржибля	Метод Намюра-Шкленника	«Американская» методика	Упрощенный метод УЗТМ	Метод Василевского	Усредненные значения по методикам
	I	II	III	IV	V	VI
1	92 106	74 264	35 440	Не применим	86 596	57 681
2	179 895	145 047	69 218		169 132	112 658
3	310 860	250 642	119 609		292 260	194 674
4	493 634	398 009	189 935		464 098	309 135
5	736 853	594 113	283 518		692 764	461 449
6	1 049 152	845 914	403 681		986 377	657 025
7	1 439 166	1 160 376	553 746		1 353 055	901 268
8	1 915 530	1 544 460	737 035		1 800 916	1 199 588
9	2 486 880	2 005 129	956 872		2 338 079	1 557 392
10	3 161 849	2 549 345	1 216 579		2 972 662	1 980 087

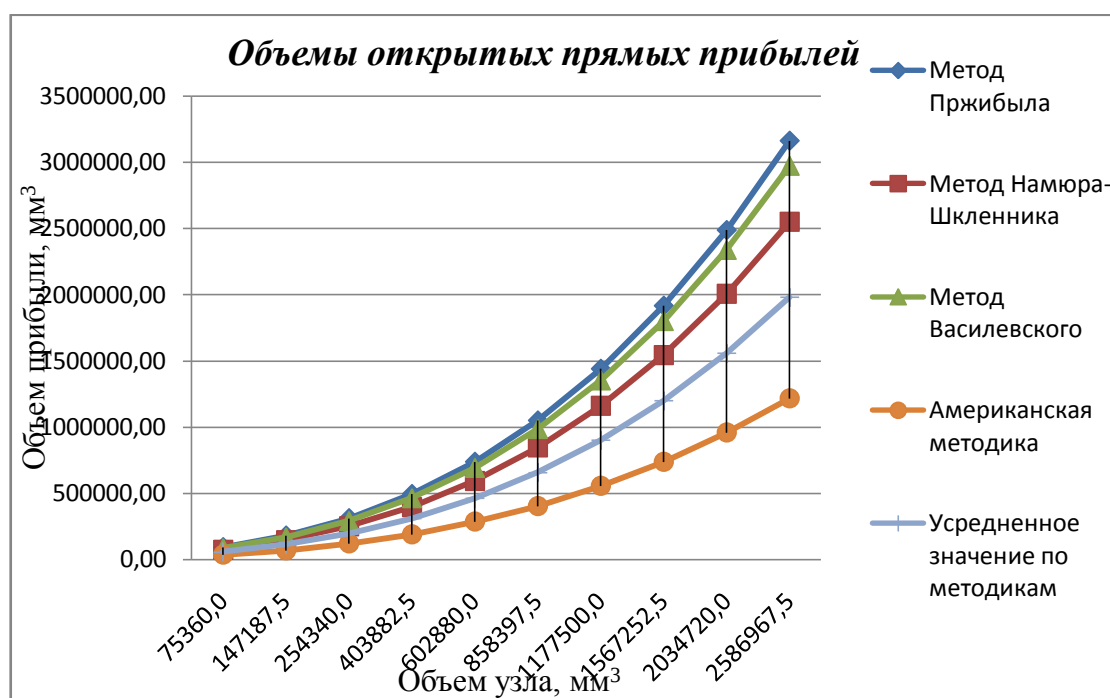


Рис. 3. Объемы открытых прямых прибылей

Представленные методики являются весьма трудоемкими для расчетов. В целях упрощения расчетов и сокращения времени автором статьи разработано приложение в программе Excel, позволяющее рассчитать размеры прибылей по нескольким методикам. Входными данными для расчета являются:

- ✓ Число тепловых узлов;
- ✓ Объем узла;
- ✓ Площадь поверхности охлаждения;
- ✓ Приведенный размер;
- ✓ Марка сплава.

Выходными данными расчета является: объем прибыли.

Данное приложение имеет встроенную базу коэффициентов для различных методик, находящуюся во вкладке «Справка».

программа

Расчет размера прибылей для стальных отливок

Число тепловых узлов:

Расчет размеров прибылей:

Объем узла (V_y):

Площадь поверхности охлаждения ($S_{охл}$):

Приведенный размер:

Марка стали:

Методики:

Методики

- ☒ Методика Пржибыла
- ☐ Методика Намюра-Шкленника
- ☐ Американская методика

Рис. 4. Входные данные для расчета размера прибылей в приложении «Методики расчета прибылей»

Методика Пржибыла 1/ 1

Введите данные для расчета:

Коэффициент соотношения сторон сечения (k_l)

Коэффициент, определяемый числом питаемых отливок (k_k)

Коэффициент превышения размера прибыли над размером отливки (k_p)

Коэффициент формы локальной прибыли (k_f)

Коэффициент высоты прибыли (k_v)

Коэффициент прибыли (K_l)

Линейная усадка сплава (l)

Рис.5. Входные данные для расчета размера прибыли по методике Пржибыла

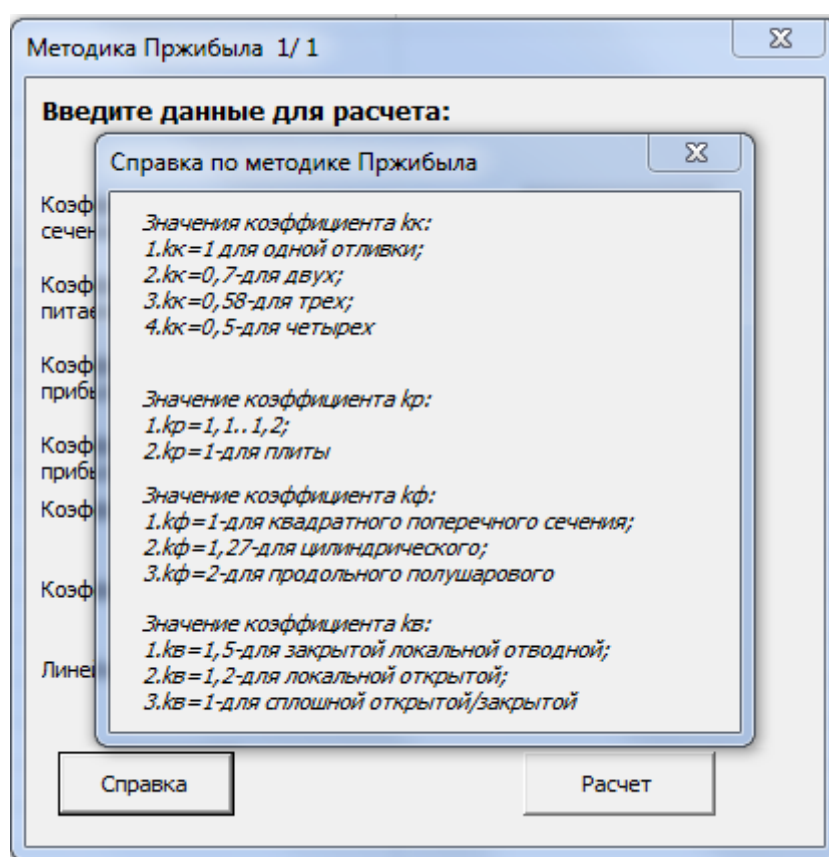


Рис. 6. Справка по методике Пржибыла

<u>Тепловой узел 1</u>	
<u>Методика Пржибыла</u>	
Результат расчета(m^3):	113040,00

Рис.7. Результаты расчета

Выводы:

1. Большинство существующих методик расчета размеров прибылей для стальных фасонных отливок являются эмпирическими.
2. Для небольших тепловых узлов результаты расчета размеров прибылей имеют небольшой разброс относительно усредненного значения по всем методикам. С увеличением размера теплового узла данный разброс увеличивается и у технолога возникает вопрос: «Какой методикой пользоваться для определения размеров прибыли?».

3. Представленные методики являются универсальными, но весьма трудоемкими с точки зрения инженерных расчетов. В целях упрощения решения задачи автором статьи было разработано приложение, позволяющее определять размеры прибылей по нескольким методикам.
4. Приведенные методики позволяют определить лишь приблизительный размер прибылей. Для проверки работы прибылей, рассчитанных по приведенным методикам, необходимо осуществлять моделирование затвердевания отливки в современных пакетах программ, например, таких как Flow 3D.

Литература

1. Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шатульский А.А. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. - М.: Машиностроение, 1992 – 256 с, с ил.
2. Трухов А.П., Сорокин Ю.А., Ершов М.Ю. и др.; Под ред. А.П. Трухова. –М.: Издательский центр «Академия», 2005. - С. 77-78.
3. Christoph Beckermann. Yield improvement and defect reduction in steel casting. Final technical report. The university of Iowa. 2004