

УДК 621.746.62:669.189

А.В. Гресс ⁽¹⁾, зав. кафедрой, д.т.н., профессор
М.С. Завгородний ⁽²⁾, генеральный директор
В.В. Мосьпан ⁽²⁾, технический директор
О.А. Гордиенко ⁽²⁾, главный сталеплавильщик
Н.Н. Недбайло ⁽²⁾, начальник цеха
О.А. Чеботарева ⁽¹⁾, магистрант
А.В. Тимофеева ⁽¹⁾, магистрант

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ ОХЛАЖДЕНИЯ СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ МНЛЗ ОАО «ДНЕПРОВСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ ИМ. Ф.Э. ДЗЕРЖИНСКОГО»

⁽¹⁾ Днепродзержинский государственный технический университет,

⁽²⁾ ОАО «Днепроровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского»

Запропоновано методику розрахунків оптимальних температурно-швидкісних режимів охолодження сортових заготовок за допомогою пошуку багатокритеріального глобального екстремуму. Наведено результати розрахунків стосовно конкретної МБЛЗ.

Ключові слова: МБЛЗ, температурно-швидкісний режим, напруження, ліквіація, глобальний оптимум

Предложена методика расчетов оптимальных температурно-скоростных режимов охлаждения сортовых заготовок посредством поиска многокритериального глобального экстремума. Представлены результаты вычислений применительно к конкретной МНЛЗ.

Ключевые слова: МНЛЗ, температурно-скоростной режим, напряжения, ликвация, глобальный оптимум

The method of calculation for the optimal temperature-speed regimes of cooling for profiled purveyances by means of search of multicriterion global extremum is presented. There are results of calculus to concrete CC mashine offered.

Keywords: CC mashine, temperature-speed mode, tensions, liquation, global optimum

Введение. В настоящее время непрерывная разливка стали на МНЛЗ является одним из самых современных видов литья, который относится к специальным способам разливки [1]. Сейчас в мире более трети всей непрерывнолитой стали разливают в сортовые заготовки. Вместе с тем, остается еще достаточно много нерешенных проблем, в частности связанных с литьем сортовых заготовок при оптимальных температурно-скоростных режимах.

Проблеме оптимизации условий затвердевания металла при непрерывной разливке стали уделяется достаточно много внимания [2-11]. Все исследователи единодушны в мнении, что оптимизация режимов охлаждения слитков является многоплановой и чрезвычайно сложной задачей, поскольку при ее решении необходимо учитывать множество физических и химических параметров. К их числу, в первую оче-

редь, относятся скорость литья, температура перегрева металла, интенсивность теплосъема в кристаллизаторе и в зоне вторичного охлаждения (ЗВО), теплофизические свойства металла, уровень дисперсности структуры, ликвации, пористости, наличие трещин и т.д.

На данном этапе развития науки и техники нахождение оптимальных параметров охлаждения стальных слитков с учетом всех факторов пока еще невозможно. Поэтому чаще всего означенная задача многокритериальной оптимизации сводится к определению оптимальных режимов охлаждения слитка с учетом нескольких факторов, причем найденные режимы чаще всего справедливы для определенного типоразмера заготовки, сортамента стали и конкретной МНЛЗ.

Цель настоящей работы – определение оптимальных режимов охлаждения стальной непрерывнолитой сортовой заготовки в пределах бункера ЗВО МНЛЗ ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского» с учетом химического состава металла, ликвации примесей в процессе кристаллизации, размера заготовки, скорости ее вытягивания, температуры перегрева стали и поверхности слитка на выходе из бункера ЗВО, термомеханических напряжений (далее напряжений) в теле заготовки с возможностью прогнозирования ее макроструктуры и места расположения вероятных трещин.

Методика исследований. Основным требованием при разработке режимов вторичного охлаждения стальной заготовки в бункере ЗВО является неизменность или плавное снижение температуры ее поверхности при условии отсутствия критических напряжений.

Чаще всего полагают, что закон изменения температуры поверхности в пределах бункера ЗВО должен иметь степенной характер [2,11]. Согласно [11], текущая температура поверхности заготовки ($\dot{O}_{ii\dot{a}}^{\dot{a}}$) в бункере ЗВО зависит от заданной температуры поверхности заготовки в конце бункера ЗВО ($\dot{O}_{ii\dot{a}}^{\dot{a}e}$), на выходе из кристаллизатора ($\tau_{нов}^{kp}$), скорости разливки (V_p), длины бункера ЗВО (ℓ_{σ}^{zbo}) и в каждый расчетный момент времени процесса разливки τ_p определяется по формуле:

$$\dot{O}_{ii\dot{a}}^{\dot{a}} = \dot{O}_{ii\dot{a}}^{\dot{a}e} + \dot{O} \cdot (\dot{O}_{ii\dot{a}}^{\dot{a}e\delta} - \dot{O}_{ii\dot{a}}^{\dot{a}e})^{1 - \frac{V_p \cdot \tau_p}{\ell_{\dot{a}}^{zbo}}} \quad (1)$$

Для обеспечения нужной толщины корки металла температуру на выходе из кристаллизатора следует поддерживать в пределах 1173...1523 К. Это условие может соблюдаться для всех заэвтектоидных сталей. Расчетами [11] определено, что гарантийным условием получения на выходе из кристаллизатора толщины корки металла заготовки, способной выдержать ферростатический напор расплава, является температура ее поверхности на входе в бункер ЗВО, величина которой составляет 1423 К.

Известно [11], что для стальной заготовки с низким содержанием марганца с целью минимизации вероятности возникновения трещин скорость снижения температуры ее поверхности в пределах бункера ЗВО в диапазоне температур 1173...1473 К должна быть меньше, чем 4 град/с. Длина бункера ЗВО в условиях МНЛЗ ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского» (ДМКД) $\ell_{\sigma}^{zbo} = 6,5$ м, скорость разливки заготовок исследуемых типоразмеров и сортамента находится в диапазоне 2,4...4,2 м/мин. Несложные расчеты, выполненные по формуле

(1), показывают, что при $\dot{O}_{i\dot{a}}^{\dot{e}\dot{o}} = 1423$ К температура поверхности заготовки в конце бункера ЗВО $\dot{O}_{i\dot{a}}^{\dot{e}\dot{e}} = 1413...1473$ К.

Однако, низкая скорость охлаждения заготовки в пределах бункера ЗВО приводит к снижению скорости кристаллизации с неизбежным ростом зональной ликвации, размеров зерна, снижением прочностных характеристик стали и возможному появлению осевых трещин. Поэтому, безусловно, оптимальная температура в конце бункера ЗВО должна быть меньше, чем заявленная ранее (1413...1473 К).

Общеизвестно, что прочностные характеристики стальных изделий существенно возрастают при одновременном снижении пластичности в диапазоне температур нормализации. Следовательно, заготовка должна подходить к зоне окончательного разгиба с температурой, на 40...50 градусов выше температуры нормализации. Для низко- и среднеуглеродистых сталей данная температура (T_n) составляет, К:

$$\dot{O}_i = 1234 - 559 [\tilde{N}] , \quad (2)$$

где $[\tilde{N}]$ – здесь и далее концентрация углерода в ковшовой пробе, %.

Результаты исследований. При нахождении оптимальных режимов вторичного охлаждения принимали, что первым функционалом, влияющим на распределение температурной нагрузки на заготовку в пределах бункера ЗВО, являются относительные напряжения, рассчитываемые как отношение действительных напряжений к предельным [11]. В отличие от других математических моделей [4-9], в работе [11] учтено, что, кроме температуры, на напряжения также оказывают влияние изменения химического состава металла в процессе кристаллизации, ферростатический напор, расстановка элементов роликовой проводки. Как известно, напряжения могут быть растягивающими (E^-) и сжимающими (E^+). Бесспорно, чем меньшими по абсолютным показателям будут значения напряжений, тем меньшей будет вероятность трещинообразования.

Следующим функционалом принята степень ликвации химических примесей, например серы (L_s). Заметим, что, согласно нашим расчетам, местоположение экстремумов распределения различных ликватов по телу заготовки может не совпадать. Принято, что сера в большей степени определяет потребительские свойства металлопродукции. Как и в предыдущем случае, значение степени ликвации должно быть по возможности меньшим.

В качестве параметров, определяющих заданные функционалы, использовали температуру перегрева ($\Delta T_{пер}$), скорость разливки (V_p , м/мин), температуру поверхности заготовки на выходе из бункера ЗВО ($T_{i\dot{a}}^{\dot{a}\dot{e}}$) и концентрацию углерода в ковшовой пробе $[\tilde{N}]$.

Без сомнения, никакие динамические величины любых процессов не носят линейного характера. Поэтому, с целью получения регрессионных зависимостей второго порядка и минимизации количества численных экспериментов, использовали ортогональное центральное композиционное планирование [12].

Принято, что искомые регрессионные уравнения зависимости функционалов Y_i от параметров разливки имеют вид

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot \Delta T_{i\dot{a}\dot{o}} + b_2 \cdot V_p + b_3 \cdot \dot{O}_{i\dot{a}}^{\dot{a}\dot{e}} + b_4 \cdot [C] + b_{11} \cdot \Delta T_{i\dot{a}\dot{o}}^2 + b_{22} \cdot V_p^2 + b_{44} \cdot [C]^2 . \quad (3)$$

В табл. 1 представлены результаты расчета коэффициентов в регрессионном уравнении (3) применительно к условиям ДМКД (здесь и далее R – коэффициент множественной корреляции).

Таблиця 1 – Коэффициенты регрессионных уравнений функционалов в натуральных величинах

Сечение, мм х мм	Y_1	b_0	b_1	b_{11}	b_2	b_{22}	b_3	b_4	b_{44}	R
130x130	A^+	-10,36890	0,01760	-0,00030	-0,51260	0,06590	0,02330	-3,91060	6,32210	0,68
	E^-	-2,83226	0,01342	-0,00021	-0,46526	0,06354	0,00660	0,99853	-0,88697	0,74
	L_S	7,24300	0,14070	-0,00210	-9,37670	1,34920	0,02740	-27,14170	33,9566	0,88
150x150	A^+	-11,39650	-0,03720	0,00050	4,13230	-0,71940	0,01420	-8,19090	13,78200	0,78
	E^-	-3,99553	-0,02174	0,00034	4,55941	-0,78356	-0,00317	-4,90068	9,47575	0,87
	L_S	-29,34140	-0,00540	0,00020	10,4813	-1,79020	0,03640	-0,65300	-9,91740	0,77
160x160	A^+	-8,52934	-0,01743	0,00019	11,89796	-2,22483	-0,01102	-8,37644	13,63404	0,74
	E^-	1,66511	-0,01649	0,00025	8,35773	-1,56787	-0,02336	-4,75559	8,99349	0,72
	L_S	-51,63470	-0,03290	0,00070	42,56660	-7,92670	-0,00080	-1,77780	-11,12340	0,85

Таблиця 3 – Коэффициенты регрессионных уравнений расчета плотности отбираемого теплового потока

Сечение, мм х мм	b_0	b_1	b_{11}	b_2	b_{22}	b_3	b_{33}	b_4	b_{44}	b_5	R
130x130	1412,977	157,912	-994,700	317,634	-30,979	-204,746	11,730	2,075	-0,009	-1,049	0,96
150x150	1138,390	415,050	-1412,590	468,590	-65,120	-168,400	9,540	3,070	-0,030	-1,190	0,96
160x160	436,106	64,756	-723,294	611,008	-96,000	-157,089	8,760	3,232	-0,028	-0,131	0,96

Очевидно, что рассчитанные функционалы будут иметь различную величину. Для проведения корректного поиска глобального экстремума при многокритериальной оптимизации следует выполнить так называемую операцию нормализации.

Нами был использован способ стандартизации функционалов, предусматривающий их перерасчет с целью получения Гауссовского вероятностного распределения. К сожалению, при решении задач многокритериальной оптимизации стандартизация функционалов не означает получение правильного решения. Причиной является неопределенность степени влияния того или иного функционала на многокритериальный глобальный экстремум. Для решения этой задачи вводят понятие весовых критериев, определяемых, чаще всего, субъективно.

Поскольку среди металлургов отсутствует объективная информация относительно совместного весового влияния растягивающих, сжимающих напряжений и степени ликвации на служебные характеристики непрерывнолитой сортовой заготовки, в нашем случае использовали формальный метод определения весовых коэффициентов.

Решение задачи поиска глобального экстремума при помощи эволюционного метода для искомым функционалов в соответствии с типоразмером и сортаментом выпускаемой ДМКД продукции позволило получить результаты, представленные в табл. 2. Здесь под значением «min» представлены наиболее благоприятные с точки зрения получения качественной заготовки режимы разлива, а под значением «max» даны неблагоприятные условия литья.

Таблица 2 – Оптимальные условия разлива стальной сортовой заготовки в условиях ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского»

Сечение, мм x мм	Функционал	Значение	$\Delta T_{i\ddot{a}d}$, °C	V_p , м/мин	$\dot{O}_{i\ddot{a}a}$, °C	[C], %
130 x 130	$0,28 E^+ + 0,45 E^- + 0,26 L_S$	max	10,0	3,48	921	0,24
		min	33,8	4,20	1101	
		max	10,0	3,48	921	0,19
		min	33,8	4,20	1101	
		max	10,0	3,48	921	0,33
		min	33,8	4,20	1101	
150 x 150	$0,17 E^+ + 0,60 E^- + 0,23 L_S$	max	10,0	2,50	921	0,24
		min	38,6	2,95	1043	
		max	10,0	2,50	921	0,19
		min	10,0	2,91	1007	
		max	10,0	2,50	921	0,33
		min	10,0	2,91	1007	
160 x 160	$0,19 E^+ + 0,53 E^- + 0,28 L_S$	max	33,3	2,40	1059	0,24
		min	10,0	3,00	921	
		max	34,0	2,40	1131	0,19
		min	10,0	3,00	921	
		max	33,3	2,40	1059	0,33
		min	10,0	3,00	921	

Детальный анализ данных табл. 1 показывает, что при одинаковом содержании углерода увеличение сечения заготовки приводит к необходимости уменьшения перегрева металла. Такая же тенденция отмечается и для скорости разлива и, особенно,

для температуры поверхности заготовки на выходе из бункера ЗВО. Очевидно, что наихудшие результаты по качеству заготовки могут быть получены при обратных тенденциях изменения параметров разливки.

Объяснение физической картины поведения искомых функционалов заключается в их взаимозависимости. Особенно это относится к зависимости напряжений от химического состава металла, меняющегося как в процессе кристаллизации, так и в объеме заготовки. Это, в свою очередь, вызывает прерывистый ход кристаллизации, который сопровождается резким ускорением или, наоборот, остановкой перемещения фронта кристаллизации. В некоторых случаях имеет место даже подплавление уже закристаллизовавшейся локальной зоны. И такие процессы очень сложным образом зависят от исследуемых параметров.

Так, уменьшение концентрации примесей в некоторой локальной области заготовки, вызванное остановкой перемещения фронта кристаллизации, приводит к снижению здесь температуры кристаллизации сплава, а, следовательно, к первоочередному затвердеванию этой области. Если такая область будет находиться между изолидусом и изоликвидусом за слоем с повышенным содержанием примесей (имеет низкую «температуру ликвидус», а, следовательно, относительно долго находится в жидком состоянии), питание этой области от жидкой фазы прекратится. Здесь образуется область с большим содержанием ликватов и, соответственно, низкими прочностными свойствами с повышенной вероятностью появления горячих трещин либо пористости.

Критический анализ показал, что, в целом, результаты расчетов для каждого исследуемого случая являются эксклюзивными и не могут быть механически перенесены на другие случаи, а особенно на МНЛЗ отличающейся конструкции.

Также следует помнить, что температура металла на разных ручьях одного и того же проковша, как правило, отличается. Следовательно, и оптимальные температурно-скоростные режимы литья не будут идентичными даже для рядом расположенных ручьев.

Плотность орошения поверхности заготовки зависит (как правило, прямо пропорционально) от плотности теплового потока, отбираемого от заготовки (Q , кВт/м²). Статистические расчеты позволили найти требуемые оптимальные количественные закономерности. Общее уравнение регрессии имеет вид:

$$Q = b_0 + b_1 \cdot [C] + b_{11} \cdot [C]^2 + b_2 \cdot V_p + b_{22} \cdot V_p^2 + b_3 \cdot X + b_{33} \cdot X^2 + b_4 \cdot \Delta T_{i\ddot{a}\ddot{o}} + b_{44} \cdot \Delta T_{i\ddot{a}\ddot{o}}^2 + b_5 \cdot \dot{O}_{i\ddot{a}\ddot{o}} \quad (4)$$

где здесь и далее X – расстояние до расчетного сечения заготовки от мениска металла по технологической оси МНЛЗ, м.

Коэффициенты регрессии представлены в табл. 3.

Одним из наиболее существенных факторов, позволяющих получать бездефектную заготовку, является равномерное и одинаковое по величине распределение температуры по ее периметру. Исследования показали выраженную синфазность изменения величины Q для различного сортамента и типоразмера сортовой заготовки, что дает возможность сделать допущение об одинаковости закона распределения Q по периметру заготовок.

Это допущение позволяет найти зависимость изменения плотности отбираемого теплового потока ($Q_{i\dot{a}}$), обеспечивающего равномерность температуры по периметру заготовки, от местонахождения расчетного сечения в объеме бункера ЗВО.

Для этого целесообразно ввести безразмерные величины: безразмерную плотность теплового потока $\bar{Q} = Q_{i\dot{a}}/Q$; безразмерную координату $\bar{X} = 2X_{i\dot{a}}/H$, здесь и далее $X_{нов}$ – расстояние от ребра заготовки по ее поверхности до расчетной точки, м; H – толщина заготовки, м.

Регрессионный анализ позволил получить следующую зависимость:

$$\bar{Q} = -0,292 + 1,413\bar{X}^3 - 4,041\bar{X}^2 + 3,90\bar{X} + 0,011\tau^2 - 0,0305\tau + 0,52H, R^2 = 0,91, \quad (5)$$

где τ – время процесса формирования заготовки, мин.

Зная найденное из уравнения (5) значение безразмерной плотности теплового потока в заданной точке \bar{X} периметра заготовки толщиной H , можно, подставив рассчитанное по данным табл. 3 в заданный момент времени процесса кристаллизации значение Q в уравнения (4), найти теоретическое распределение плотности теплового потока по периметру заготовки, обеспечивающее отсутствие градиента температур по ее поверхности.

Общепризнано, что горячие трещины возникают вблизи двухфазной зоны. Наша математическая модель позволяет определить время возникновения вероятных трещин и их место расположения в объеме заготовки на основании знания закона перемещения границы «солидус» ($D_{\dot{m}\dot{e}}$, мм) и «ликвидус» ($D_{\dot{e}\dot{e}\dot{e}}$, мм):

$$D_{\dot{m}\dot{e}} = 113,634 - 112,461[\tilde{N}] + 198,499[C]^2 - 31,979V_p + 3,812V_p^2 + 12,470X - 1,037X^2 - 0,789\Delta T_{i\dot{a}\dot{o}} + 0,006\Delta T_{i\dot{a}\dot{o}}^2 - 0,046\dot{O}_{i\dot{a}}^{\dot{a}\dot{e}} + 1,798H - 0,373H^2, R = 0,94; \quad (6)$$

$$D_{\dot{e}\dot{e}\dot{e}} = 114,224 - 40,858[\tilde{N}] + 121,790[C]^2 - 14,347V_p + 1,369V_p^2 + 17,700X - 1,037X^2 - 0,617\Delta T_{i\dot{a}\dot{o}} + 0,004\Delta T_{i\dot{a}\dot{o}}^2 - 0,128\dot{O}_{i\dot{a}}^{\dot{a}\dot{e}} + 1,008H - 0,821H^2, R = 0,95. \quad (7)$$

Согласно [11], зона равноосных кристаллов получает преимущественное развитие при достижении поверхностью изоликвидуса оси заготовки. Найдя из уравнения (7) длительность процесса, соответствующую значению X , а из уравнения (6) положение изосолидуса, несложно определить протяженность вышеуказанной зоны. Зона столбчатых кристаллов начинает формироваться в момент начала процесса ликвации примесей [11], что фиксируется в нашей модели.

Таким же образом можно рассчитать оптимальные температурно-скоростные режимы и для других МНЛЗ, сортамента и типоразмера заготовки с возможностью прогнозирования качественных характеристик металлопродукции.

Выводы. С использованием численного моделирования теплового, концентрационного и напряженного состояния непрерывнолитой стальной сортовой заготовки получены:

1. Количественная взаимосвязь между оптимальным распределением плотности теплового потока, отбираемого в процессе кристаллизации, по периметру и длине заготовок в зависимости от условий разлива.
2. Аналитические зависимости, дающие возможность прогнозирования макроструктуры непрерывнолитых сортовых заготовок.

Результаты работы позволяют разрабатывать технологию непрерывной разливки сортовых заготовок с получением продукции заданного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Специальные способы литья [Текст] : справочник / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич и др. ; под общ. ред. В. А. Ефимова. – М. : Машиностроение, 1991. – 436 с. – Библиография в конце каждого раздела. – ISBN 5-217-01120-3.
2. Теория непрерывной разливки. Технологические основы [Текст] / В. С. Рутес, В. И. Аскольдов, Д. П. Евтеев и др. – М. : Металлургия, 1971. – 296 с. – Библиогр. : с. 294-296.
3. *Соболев, В. В.* Оптимизация тепловых режимов затвердевания расплавов [Текст] / В. В. Соболев, П. М. Трефилов. – Красноярск : КГУ, 1986. – 152 с. – Библиогр. : с. 149-151.
4. *Самойлович, Ю. А.* Определение оптимальных режимов охлаждения стальных заготовок при непрерывном литье [Текст] / Ю. А. Самойлович, Д. Г. Семяко, Ю. А. Маневич // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1989. – № 8. – С. 102-105.
5. *Черепанов, А. Н.* Аналитическое исследование оптимальных режимов охлаждения непрерывного слитка [Текст] / А. Н. Черепанов, К. А. Черепанов // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1990. – № 12. – С. 71-73.
6. Математическое моделирование и оптимизация режимов вторичного охлаждения непрерывнолитых слябовых заготовок [Текст] / В. В. Кислица, Е. А. Чичкарев, А. В. Федосов и др. // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2007. – № 17. – С. 50-55.
7. *Аникеев, В. В.* Оптимизация интенсивности вторичного охлаждения стальных слитков при полунепрерывном литье [Текст] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 4(2). – С. 307-312.
8. Оптимизация вторичного охлаждения в машине непрерывного литья заготовок [Текст] / В. В. Аникеев, С. В. Лукин, А. В. Гофман, Н. Г. Баширов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2010. – № 1-24. – С. 118-122.
9. Исследование и оптимизация режимов вторичного охлаждения при непрерывном литье слябовых заготовок [Текст] / Е. А. Чичкарев, А. И. Троцан, Н. В. Назаренко и др. // Математичне моделювання. – 2008. – № 2(19). – С. 26-30.
10. *Логунова, О. С.* Многокритериальная оптимизация теплового состояния непрерывнолитой заготовки [Текст] / О. С. Логунова, П. П. Макарычев // Известия Вузов. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 2(10). – С. 193-200.
11. *Огурцов, А. П.* Непрерывное литье стали / А. П. Огурцов, А. В. Гресс. – Днепропетровск : Системные технологии, 2002. – 675 с. – Библиогр. : с. 651-674. – ISBN 966-7316-67-X.
12. *Налимов, В. В.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов [Текст] / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М. : Физматгиз, 1965. – 340 с. – Библиография в конце каждого раздела.

Стаття надійшла до редакції 16.05.2014 р.
Рецензент, проф. О.П. Огурцов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>