

УДК 669.162.215.003.12

**Н.Г.Иванча, И.Н.Вишнякова, В.И.Вишняков, Ю.С.Семенов**

**ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ЧАСТИ  
ШИХТЫ ПО РАДИУСУ КОЛОШНИКА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ №1  
ОАО «АМК»**

Выполнена аналитическая оценка распределения железорудных компонентов по радиусу доменной печи с помощью разработанных математических моделей. Показано распределение окатышей на колошнике при шести вариантах формирования железорудной порции.

**Современное состояние вопроса.** В составе железорудной части шихты доменной печи (ДП) №1 ОАО «Алчевский металлургический комбинат» загружаются окатыши Северного, Полтавского, Михайловского и Лебединского ГОКов в различных сочетаниях. Содержание окатышей в шихте изменяется в широких пределах: от 20% до 60%.

Практика применения окатышей в доменном производстве показывает, что стабильная и экономичная работа доменных печей достигается при выполнении ряда технологических требований к загрузке железорудных компонентов шихты, обусловленных специфическими свойствами и особенностями поведения окатышей в доменной печи. Основными негативными свойствами окатышей являются [1, 2]:

- образование значительного количества закиси железа при восстановительно–тепловой обработке окатышей, которая, взаимодействуя с коксом, приводит к его разрушению с перерасходом углерода на прямое восстановление. При попадании окатышей в периферийную зону печи концентрация высокозакисной жидкости приводит к размыванию гарнисажа, разрушению кладки шахты, выходу из строя холодильников и воздушных фурм;
- образование значительного количества пыли в ходе восстановления, которая выеивается газовым потоком на стенки печи, и в зависимости от условий загрузки и поведения щелочей, является либо источником образования настывлей, либо приводит к оплавлению и сползанию гарнисажа (его неустойчивости), загромождению горна печи и горению фурм (смятие, верхнее горение);
- низкий коэффициент внутреннего трения, что обуславливает возможность неуправляемого перераспределения окатышей на колошнике при загрузке в печь. В случае сосредоточения окатышей в отдельных зонах доменной печи, заметно искажается профиль зоны размягчения и плавления с последующим перерасходом кокса и увеличением тепловых нагрузок на холодильники шахты.

**Изложение основных материалов исследования.**

При отдельной загрузке агломерата и окатышей в печь различие их свойств может приводить к неравномерности распределения газового по-

тока по сечению шахты, разрывам полей плавления и шлакообразования по объему столба шихты, что обуславливает нестабильность хода печи и затрудняет управление процессом плавки. Вследствие указанных особенностей поведения окатышей в печи, проплавка их производится, как правило, в смеси с агломератом, свойства которого направлены на компенсацию негативных свойств окатышей, проявляющихся в процессе доменной плавки, особенно при большом содержании их в шихте.

При разработке приемов загрузки порций шихты, содержащих окатыши, наряду с обеспечением требуемого распределения рудных нагрузок решается задача рационального распределения окатышей и агломерата по радиусу колошника, условия которой включают, в том числе, два взаимосвязанных технологических требования: ограничение концентрации окатышей в периферийной и в осевой зонах колошника и загрузка промежуточной зоны смесью окатышей и агломерата. В этой связи, для разработки программ загрузки важным этапом является оценка влияния расположения компонентов порции в скипе на последовательность их выгрузки из бункера БЗУ и качественные изменения состава потока выгружаемой шихты в течение времени выгрузки порции на колошник. Последовательность выхода компонентов порции из бункера БЗУ, а, следовательно, и распределение компонентов потока выгружаемых материалов в течение времени выгрузки бункера, определяется расположением компонентов по объему порции в бункере БЗУ перед выгрузкой, которое, в свою очередь, определяется распределением компонентов в потоке материалов при загрузке бункера [3, 4].

Для решения этой задачи в Институте черной металлургии в течение последних лет разработаны математические модели выгрузки многокомпонентных порций из бункера БЗУ и распределения их на колошнике, которые используются для выбора рациональных приемов и программ загрузки порций шихтовых материалов, включающих на практике до 10 компонентов. В модели выгрузки многокомпонентных порций из бункера БЗУ в качестве исходных данных задается распределение компонентов в бункере в виде слоев материала с различным компонентным составом. В системах загрузки с конвейерной подачей шихты на колошник последовательность поступления слоев шихтовых материалов с различным составом компонентов соответствует последовательности расположения этих слоев на конвейере, поэтому определение компонентного состава каждого слоя и положения слоя в бункере при известной структуре порции не представляет сложности. Распределение компонентов порции в бункере БЗУ в системах со скиповой доставкой шихты на колошник формируется в процессе набора компонентов в скипы и высыпания материала из скипов в бункер БЗУ, что обуславливает необходимость учета смещения слоев материала и перемешивания компонентов различных слоев при повороте скипов в разгрузочных кривых.

Для решения этой задачи в Институте черной металлургии разработана математическая модель загрузки компонентов порций в скипы и выгрузки их из скипов в бункер БЗУ, учитывающая изменения распределения компонентов в потоке загружаемого в бункер материала, которые обусловлены перемещением материалов и их послойным ссыпанием при изменении угла наклона скипа в разгрузочных кривых.

Результаты наблюдений процесса загрузки скипов шихтовыми материалами показали, что поверхность загруженного в скип материала, как правило, представляет собой наклонную в направлении бункерных весов плоскость с углом наклона к горизонтали на  $5 - 10^\circ$  меньшим угла естественного откоса. Указанный вид поверхности и угол её наклона обусловлены значительными размерами поперечного сечения (1,0 м и более) и динамическим воздействием потока выгружаемого материала. Поскольку при загрузке в скип ширина потока железорудных шихтовых материалов (в направлении горизонтальной кромки выпускного отверстия бункерных весов) сопоставима с соответствующим поперечным размером скипа, при его загрузке не происходит существенного перераспределения компонентов в направлении этого поперечного размера, что позволяет использовать для формализованного описания расположения шихтовых материалов в скипе проекции тел, образуемых отдельными слоями, на боковую стенку скипа (рис.1). При этом площадь проекции рассматриваемого слоя шихтовых материалов прямо пропорциональна массе материала или смеси материалов в данном слое.

Выгрузка материалов из скипа осуществляется в процессе движения скипа в разгрузочных кривых, начиная с момента, когда угол наклона свободной поверхности материала в скипе к горизонтали превысит угол сопротивления сдвигу (как правило, для основных компонентов доменной шихты указанный угол находится в пределах  $35^\circ - 45^\circ$ ). Сход очередного слоя осуществляется при нарушении условия его равновесия [5]:

$$\alpha_0 > \varphi = \arctg \left( f + \frac{\tau_0}{\sigma} \right),$$

где  $\alpha_0$  – угол откоса поверхности шихтового материала в скипе к горизонтали во время движения в разгрузочных кривых, град;  $\varphi$  – угол сопротивления сдвигу, град;  $f$  – коэффициент внутреннего трения шихтового материала;  $\tau_0$  – начальное касательное напряжение сдвига шихтового материала, Н/м<sup>2</sup>;  $\sigma$  – нормальное напряжение в рассматриваемом слое шихтового материала, Н/м<sup>2</sup>.

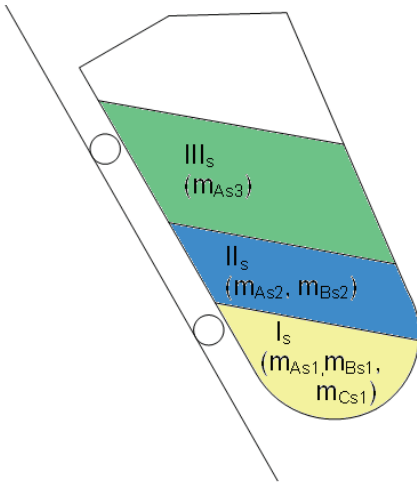


Рис.1. Схематическое изображение расположения слоев шихтовых материалов после загрузки в скип.

$I_s, II_s, III_s$  – индексы слоев материалов, образующихся при загрузке скипов;

$A, B, C$  – индексы компонентов порции;

$m_{As1}, m_{As2}, m_{As3}, m_{Bs1}, m_{Bs2}, m_{Cs1}$  – массы компонентов в слоях материалов, образующихся при загрузке скипов.

### Математическая модель.

При математическом моделировании процесса выгрузки многокомпонентных порций из скипа приняты следующие основные допущения:

- последующий загружаемый в скип слой полностью накрывает собой предыдущий загруженный слой;
- поверхность загруженного в скип материала представляет собой наклонную в направлении бункерных весов плоскость с углом наклона к горизонтали на  $5-10^\circ$  меньшим угла естественного откоса;
- при движении скипа до входа в разгрузочные кривые слои материала в скипе сохраняют свое положение, сформировавшееся при его загрузке;
- выгрузка материалов из скипа в бункер БЗУ осуществляется послойно в процессе движения скипа в разгрузочных кривых, начиная с момента, когда угол наклона свободной поверхности материала в скипе к горизонтали превысит угол сопротивления сдвигу материала.

Для разработки математического описания процесса выгрузки шихтовых материалов из скипа весь объем шихтовых материалов в скипе, с учетом вышеприведенных допущений, условно может быть разбит на отдельные, последовательно сыпающиеся слои равного объема, размер которых определяется необходимой точностью последующего определения распределения масс компонентов в бункере БЗУ. Каждому слою присваивается индекс, соответствующий очередности его поступления в бункер БЗУ. Во время выгрузки шихтовых материалов при повороте скипа, из-за различия значений углов наклона поверхности, образующейся при загрузке скипа, и углов внутреннего трения материала, плоскость, по которой происходит выгрузка очередного слоя, пересекает контуры слоев материалов, образовавшихся при загрузке скипа, вследствие чего происходит перемешивание компонентов различных слоев (рис.2).

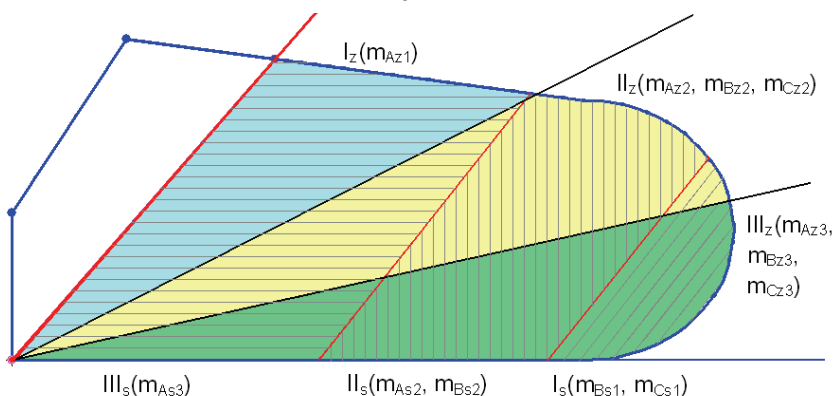


Рис.2. Схема условной разбивки порции шихтовых материалов скипе на слои, последовательно выгружающиеся в бункер БЗУ.

A, B, C – индексы компонентов порции;  $I_s$ ,  $II_s$ ,  $III_s$  – индексы слоев материалов, образующихся при загрузке скипов;  $I_z$ ,  $II_z$ ,  $III_z$  – индексы условно выделенных слоев материалов в скипе при загрузке порции в бункер БЗУ, т;  $m_{As2,3}$ ,  $m_{Bs1,2}$ ,  $m_{Cs1}$  – массы компонентов в слоях материалов, образующихся при загрузке скипов, т;  $m_{Az1-3}$ ,  $m_{Bz2,3}$ ,  $m_{Cz2,3}$  – массы компонентов в условно выделенных слоях материалов в скипе при загрузке порции в бункер БЗУ, т.

В процессе расчета определяются площади геометрических фигур, образующиеся при пересечении линий, ограничивающих сыпавшийся слой, с контурами слоев с различным составом шихтовых материалов, образовавшихся при загрузке скипа. При указанном выше допущении об отсутствии существенного перераспределения компонентов в направлении горизонтальной кромки выпускного отверстия бункерных весов, соотношение площадей указанных фигур будет соответствовать соотношению масс компонентов в смеси, образующейся при сыпании рассматриваемого слоя в бункер БЗУ.

Комплекс разработанных в ИЧМ математических моделей движения шихтовых материалов по тракту системы загрузки использован для оценки распределения агломерата и окатышей по радиусу колошника доменной печи №1 ОАО «Алчевский металлургический комбинат (АМК)». На рис.3 – 6 показаны основные видеокadres программы, реализующей расчет распределения компонентов потока выгружаемых из скипа шихтовых материалов (приведен пример расчета для второго рудного скипа подачи, в котором условно выделены, пять слоев материала, последовательно загружающихся в бункер БЗУ).



## Результаты расчета

Слой		Материалы в слое					
№ слоя	Масса, т	Насыпная масса, т/м3	Объем, м3	CaO,ед.	SiO2,ед.	Основность	Площадь зоны, м2
1	5,10	1,98	2,57	0,0731	0,0916	0,7983	1,415
2	5,39	2,09	2,57	0,0354	0,0946	0,3748	1,415
3	5,48	2,12	2,57	0,0255	0,0953	0,2674	1,415
4	5,51	2,14	2,57	0,0214	0,0956	0,2235	1,415
5	5,52	2,14	2,57	0,0207	0,0957	0,2168	1,415

Рис.5. Результаты расчета. Параметры выгружаемых слоев.

## Результаты расчета

Слой		Материалы в слое						
№ слоя	№ матер.	Название материала	Масса, т	Насыпная масса, т/м3	Объем, м3	CaO,ед.	SiO2,ед.	Основность
1	1	Окатыши	2,12	2,20	0,96	0,0040	0,0970	0,0412
	2	Агломерат	2,98	1,85	1,61	0,1223	0,0878	1,3929
2	1	Окатыши	3,96	2,20	1,80	0,0040	0,0970	0,0412
	2	Агломерат	1,43	1,85	0,77	0,1223	0,0878	1,3929
3	1	Окатыши	4,48	2,20	2,03	0,0040	0,0970	0,0412
	2	Агломерат	1,00	1,85	0,54	0,1223	0,0878	1,3929
4	1	Окатыши	4,70	2,20	2,13	0,0040	0,0970	0,0412
	2	Агломерат	0,81	1,85	0,44	0,1223	0,0878	1,3929
5	1	Окатыши	4,74	2,20	2,15	0,0040	0,0970	0,0412
	2	Агломерат	0,78	1,85	0,42	0,1223	0,0878	1,3929

Рис.6. Результаты расчета. Компонентный состав выгружаемых слоев.

Оценка характера распределения агломерата и окатышей по радиусу колошника ДП №1 выполнена при различных вариантах загрузки этих компонентов в четыре подряд загружаемые рудные скипа двух подач.

Расчетная оценка распределения окатышей на колошнике для порций, состоящих из одного скипа, выполнена при следующих исходных данных:

- состав подачи: масса кокса – 15,3 т; масса агломерата – 34,0 т; масса окатышей – 20,0 т; рудная нагрузка – 3,53;
- программа загрузки:

Номер порции в цикле	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид материала	Р	Р	Р	Р	К	К	К	К	Р
Угловые положения лотка	10–9	9–8	8–7	7–6	9–8	8–7	7–6	2–1	9–8
Номер порции в цикле	10	11	12	13	14	15	16		
Вид материала	Р	Р	Р	К	К	К	К		
Угловые положения лотка	8–7	7–6	6–5	9–8	8–7	7–6	3–2		

Структурная схема шихтоподачи и возможности системы управления ДП №1 позволяют осуществить последовательную («без постели») и синхронную («с постелью») загрузку агломерата и окатышей в скип.

Рассмотренные варианты загрузки компонентов железорудных порций в скип и результаты математического моделирования в виде графиков распределения окатышей по радиусу колошника представлены на рис.7 и 8.

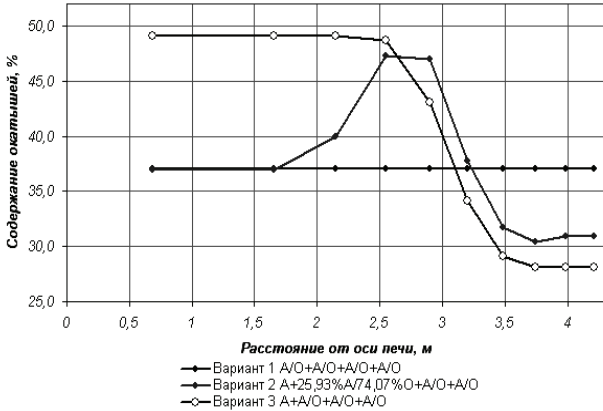


Рис.7. Варианты загрузки компонентов железорудных порций в скип и результаты математического моделирования распределения окатышей по радиусу колошника ДП №1.

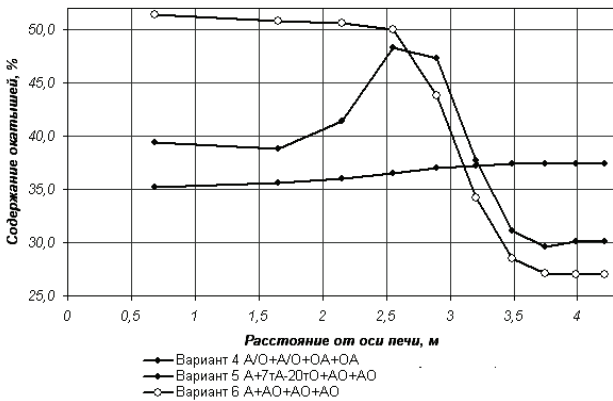
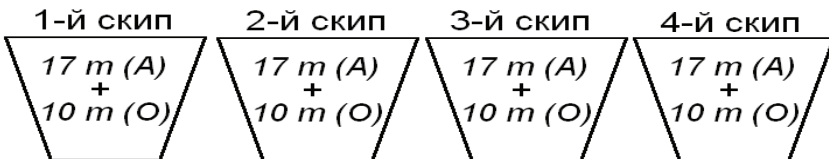


Рис.8. Варианты загрузки компонентов железорудных порций в скип и результаты математического моделирования распределения окатышей по радиусу колошника ДП №1.

Вариант 1 – синхронная загрузка агломерата и окатышей в бункерные весы в режиме «с постелью».

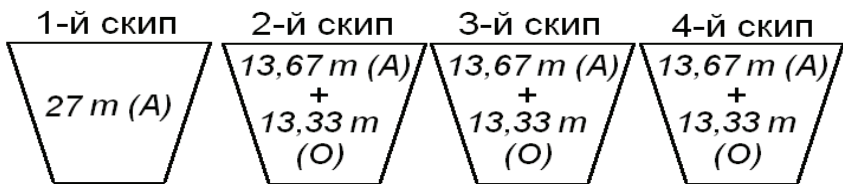




Вариант 2 – загрузка первого скипа агломератом и синхронная загрузка агломерата и окатышей в режиме «с постелью» во второй, третий и четвертый скипы при повышенном содержании окатышей во втором скипе.



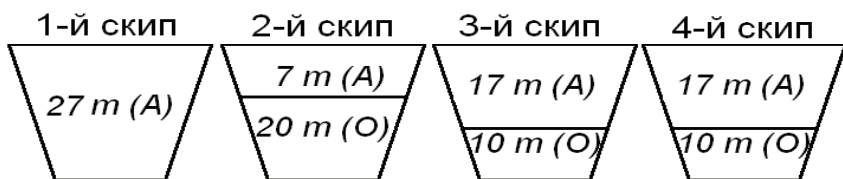
Вариант 3 – загрузка первого скипа агломератом и синхронная загрузка агломерата и окатышей в режиме «с постелью» во второй, третий и четвертый скипы с равномерным распределением окатышей в этих скипах.



Вариант 4 – загрузка агломерата и окатышей в первый и второй скипы «без постели» (последовательно), в третий и четвертый скип – «с постелью» (синхронно).

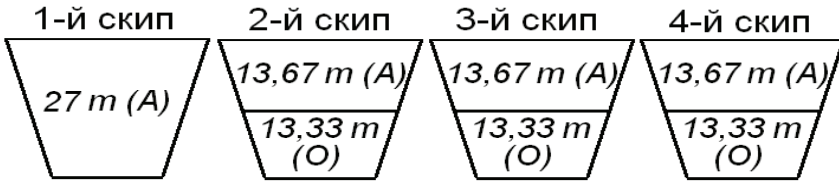


Вариант 5 – загрузка первого скипа агломератом и последовательная загрузка окатышей и агломерата в режиме «без постели» во второй, третий и четвертый скипы при повышенном содержании окатышей во втором скипе.



Вариант 6 – загрузка первого скипа агломератом и последовательная загрузка окатышей и агломерата в режиме «без постели» во второй, третий

и четвертый скипы с равномерным распределением окатышей в этих скипах.



Точки на графиках, соответствующие конкретным значениям содержания окатышей, расположены по радиусу колошника в соответствии с расположением центров десяти равных по площади кольцевых зон колошника. Содержание агломерата в указанных зонах определяется как разность между общим количеством железорудных материалов в зоне (100%) и содержанием в ней окатышей.

Как показывают полученные результаты, наиболее часто применяющиеся варианты загрузки скипов по вариантам №1 и №4, обеспечивают практически равномерное распределение компонентов железорудных порций по радиусу колошника с содержанием окатышей в периферийной зоне на уровне среднего содержания в шихте 36–38%. Для снижения уровня содержания окатышей на периферии может применяться распределение масс компонентов железорудной части подачи и последовательность их загрузки в скипы в соответствии с вариантом №2 (рис. 7). Предложенная последовательность загрузки агломерата и окатышей предусматривает загрузку агломерата в первый скип и загрузку смеси окатышей с агломератом в режиме «с постелью» во второй, третий и четвертый скипы. При отсутствии возможности работы «с постелью» вместо варианта 2 может быть применен вариант №5, который обеспечивает близкий к предыдущему варианту характер распределения окатышей по радиусу колошника.

Кроме указанных выше вариантов распределения масс компонентов железорудной части подачи и последовательности их загрузки в скипы рассмотрены варианты №3 и №6 с равномерным распределением массы окатышей во второй, третий и четвертый скип. Варианты №3 и №6 при снижении содержания окатышей в периферийной зоне обеспечивают повышение их содержания в приосевой зоне и могут периодически использоваться для снижения интенсификации чрезмерно развитого осевого газового потока.

Полученные результаты позволяют качественно оценить также влияние распределения масс компонентов железорудной части подачи по скипам при применении других вариантов набора компонентов в скип. Например, для дальнейшего снижения содержания окатышей в периферийной зоне необходимо повысить содержание агломерата во втором скипе. Следует учитывать, что при этом, содержание окатышей повысится в зо-

нах, загружаемых скипами, из которых агломерат перемещается во второй скип. Аналогично, при необходимости снижение содержания окатышей в осевой зоне может быть реализовано уменьшением их содержания в четвертом скипе с загрузкой соответствующей массы окатышей в третий скип, однако, при этом содержание окатышей в промежуточной зоне возрастает.

### **Заключение**

В ИЧМ разработан комплекс математических моделей и программного обеспечения, обеспечивающих возможность аналитической оценки изменения распределения компонентов порций шихтовых материалов в процессе выгрузки их на конвейер или загрузки в скипы, загрузки порций в бункер БЗУ, выгрузки из бункера и распределения на колошнике.

Математические модели могут быть использованы для выбора и реализации рациональной структуры многокомпонентных порций шихтовых материалов, обеспечивающей требуемое распределение основности и других характеристик компонентов шихты на колошнике в соответствии с современными технологическими требованиями процесса загрузки доменных печей.

1. *Доменное производство «Криворожстали».* / Монография колл. авторов под редакцией чл.-корр. НАНУ В.И. Большакова. – ИЧМ НАНУ, «Криворожсталь». – Дн-ск, Кр.Рог. – 2004. – 378с.–
2. *Научно – технические решения по обеспечению продолжительной безопасной работы доменных печей* / В.И.Большаков, Н.Г.Иванча, А.С.Нестеров и др. // «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». Сб. научн. тр. – Київ, 2006. – С. 440 – 444.
3. *Квапил Р.* Движение сыпучих материалов в бункерах. – М.: Госгортехиздат, 1961.–81 с.
4. *Калинин А.П., Загайнов С.А., Ярошенко Ю.Г.* Математическая модель оценки качественных характеристик потока при их циклической загрузке и выгрузке из бункера // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1985. – №8. – С.95–98.
5. *Алферов К.В., Зенков Р.Л.* Бункерные установки. – М.:Машгиз, 1955.–308 с.

*Статья рекомендована к печати чл.-корр.НАНУ В.И.Большаковым*