

УДК 621-501.72

А.А. Стенин, П.С. Хоменко, Ю.А. Рыбенюк

СОЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ГРУПП ОПЕРАТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ ДВИЖЕНИЯ

Анотація. Запропоновано метод формування ефективних робочих груп операторів, оснований на досягненні максимуму соціометричного показника сумісності членів робочих груп. Запропонований алгоритм формування істотно скорочує число варіантів та виключає безвихідні ситуації.

Введение

Характеризуя операторскую деятельность в ЭС, нельзя не отметить следующее обстоятельство. В управлении технологическими процессами или объектами движения участвуют, как правило, коллективы операторов. Во многих случаях игнорирование взаимодействия в коллективах операторов может являться одной из причин снижения показателей качества работы системы в целом.

Экипаж (группа операторов) является полиэргатической системой, качество функционирования которой определяется характеристиками не только отдельных операторов, но и коллектива как целого. Качество функционирования зависит от множества факторов, таких как слаженность коллектива, совместимость его членов, структура связей в коллективе, распределение функций и так далее.

В зависимости от количества коллективы могут быть большие и малые, и поведение при этом может иметь существенные изменения. Кроме функциональных (деловых) контактов, возникают неофициальные (эмоциональные), которые оказывают взаимное влияние.

Все это подчеркивает сложность анализа деятельности группы операторов в эргатических системах.

Постановка задачи

Для коллектива операторов, если он рассматривается как целое, гораздо сложнее получить количественные характеристики,

© Стенин А.А., Хоменко П.С., Рыбенюк Ю.А., 2010

подобные характеристикам одного оператора, а некоторые характеристики вообще присущи только коллективу и не имеют аналогов для одного оператора. При анализе деятельности группы операторов возникает проблема оценки групповой деятельности операторов.

Известно [1], что эффективность функционирования любой эргатической системы (ЭС) в целом в значительной степени зависит от надежности человеческого звена, а также от того, насколько неформальная структура группы совпадает с формальной.

Для установления неформальной структуры группы модель деятельности группы должна обеспечивать, в первую очередь, установление имеющихся группировок, влияние лиц, вносящих в среду общения элементы раздора, неприязни, вражды и так далее. Решение этих вопросов может быть осуществлено как с помощью аналитических методов, так и на основе использования социометрического метода.

Аналитические модели, как правило, применяют на этапах проектирования ЭС

Использование социометрического метода оказывается более выгодным, по сравнению с методами математического моделирования при комплектовании рабочих групп из реальных специалистов. Он позволяет без больших материальных затрат получить более точные сведения о характеристиках конкретной группы специалистов.

Формирование рабочей группы

Суть социометрического метода заключается в том, что членам группы предлагается ответить на ряд вопросов-критериев, направленных на выявление их взаимоотношений, взаимных оценок тех или иных качеств личности и поведения при непосредственном общении. Например, в качестве критерия сотрудничества каждому оператору может быть задан вопрос “С кем Вы хотели (не хотели) бы выполнять вместе определенную работу по управлению ЭС?”

Данные ответов заносятся в специальную таблицу, пример которой представлен в табл. 1. Здесь рассматривается подбор экипажей, состоящих из трех операторов – оператора x , оператора y и оператора z . В соответствующих клетках этой таблицы представлен результат ответа каждого оператора на поставленный вопрос-критерий. Значение $+1$ означает положительный выбор, -1 –

отрицательный выбор, 0 – нейтральный (отсутствие выбора). Личная позиция каждого оператора в системе взаимоотношений может быть количественно описана числом, как сумма оценок отдельных значений соответствующего данному оператору столбца.

Обобщенный социометрический показатель исследуемой группы операторов вычисляется по формуле [1]:

$$A = \sum_{i=1}^n (Ax_i + Ay_i + Az_i), \quad (1)$$

где Ax_i, Ay_i, Az_i – социометрический показатель отдельного оператора (командира, инженера, технолога), n – число операторов в группах x, y, z .

Таблица 1

Карта опросов членов группы

		Оператор X				Оператор Y				Оператор Z			
		x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	y_3	y_4	z_1	z_2	z_3	z_4
Командир X	x_1	X	X	X	X	0	0	-1	1	1	0	0	1
	x_2	X	X	X	X	1	0	0	-1	0	0	-1	1
	x_3	X	X	X	X	1	0	0	0	-1	0	0	0
	x_4	X	X	X	X	-1	1	0	0	1	1	1	0
Инженер Y	y_1	-1	0	0	1	X	X	X	X	1	0	0	1
	y_2	1	0	0	0	X	X	X	X	1	-1	0	0
	y_3	0	0	1	1	X	X	X	X	1	1	0	0
	y_4	1	1	0	0	X	X	X	X	-1	1	0	0
Технолог Z	z_1	-1	0	0	0	1	0	0	0	X	X	X	X
	z_2	1	0	0	1	0	1	-1	0	X	X	X	X
	z_3	1	1	0	0	-1	1	0	0	X	X	X	X
	z_4	0	1	1	0	0	0	1	1	X	X	X	X
Σ		2	3	2	3	1	3	-1	1	3	2	0	3

Из таблицы 1 видно, что обобщенный социометрический показатель исследуемой группы является положительным ($A = 22$) и достаточно высоким, что является признаком хорошей социально-психологической совместимости членов группы.

Далее, спецификой использования социометрического метода в данном случае, в отличие от известных работ [2], является то, что задача состоит в формировании отдельных экипажей (в рассматриваемом случае четырех экипажей), структура взаимоотношений в которых была бы положительной с максимально высоким частным социометрическим показателем R_i , определяемым на основе графического изображения взаимодействий в каждом экипаже.

Один из примеров такого графического изображения произвольным образом составленных четырех экипажей для групп операторов $x_1 - y_3 - z_2$; $x_2 - y_1 - z_1$; $x_3 - y_2 - z_4$; $x_4 - y_4 - z_3$ с учетом данных таблицы 1, приведен на рис. 1.

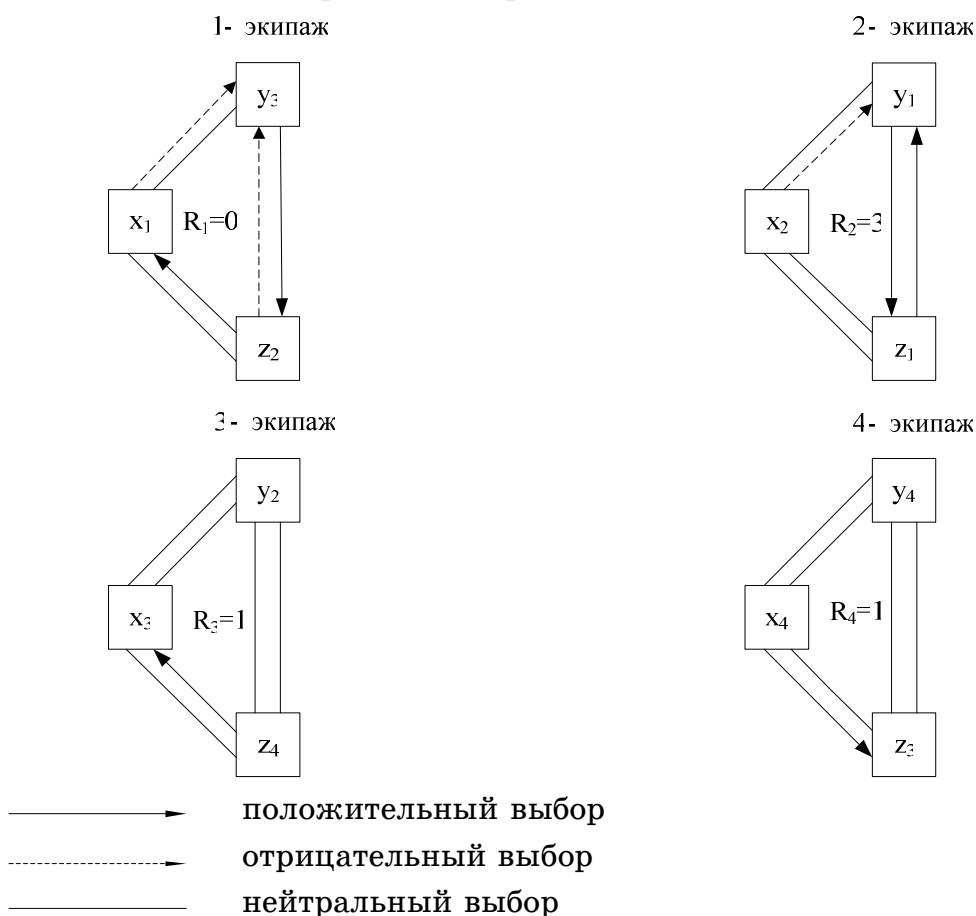


Рисунок 1– Графическое изображение взаимодействий в экипаже

Как видно из рис. 1, наиболее предпочтительно в указанном раннее смысле выглядит второй экипаж, у которого положительные взаимоотношения и достаточно высокий $R_2 = 3$ (в данном случае $R_{max} = 6$). Наименее предпочтительно выглядит первый экипаж ($R_1 = 0$ и отрицательные отношения). Естественно, что такой выбор экипажей нежелателен и не является оптимальным.

На примере таблицы 1 можно показать, не теряя общности результатов, алгоритм решения задачи формирования экипажей с положительными взаимоотношениями и

$$\sum_{i=1}^n R_i \rightarrow \max. \quad (2)$$

Легко убедиться, что максимальное число вариантов формирования экипажа из операторов различных функциональных групп (например, в рассматриваемом случае — это группа командиров — x , группа инженеров — y , группа технологов — z) будет определяться по формуле

$$N_{var} = n^m, \quad (3)$$

где n — число операторов в каждой из функциональных групп, m — число членов в каждом экипаже.

В частности, для таблицы 1 $N_{var} = 64$.

Далее необходимо, во-первых, сформировать из полученного числа N_{var} число наборов $N_{ЭК}$ экипажей из n непересекающихся комбинаций (другими словами один и тот же оператор не может одновременно входить в несколько экипажей) по m операторов в каждом из экипажей, и, во-вторых, выбрать из полученного числа наборов $N_{ЭК}$ те, которые удовлетворяют оговоренным выше условиям.

Анализ показал, что число таких наборов $N_{ЭК}$ в общем случае определяется по формуле

$$N_{ЭК} = \prod_{i=0}^{n-1} (n-i)^{m-1}. \quad (4)$$

В частности, в рассматриваемом примере $N_{ЭК} = 576$.

На примере таблицы 1 можно показать, как существенно упростить процедуру формирования из общего числа наборов $N_{ЭК}$

только тех, для которых внутри экипажей существуют положительные взаимоотношения и $\sum_{i=1}^n R_i \rightarrow \max$.

На основании данных таблицы 1 формируются следующие парные матрицы Y_+X_+ , Z_+X_+ , Z_+Y_+ взаимного опроса (рис.2).

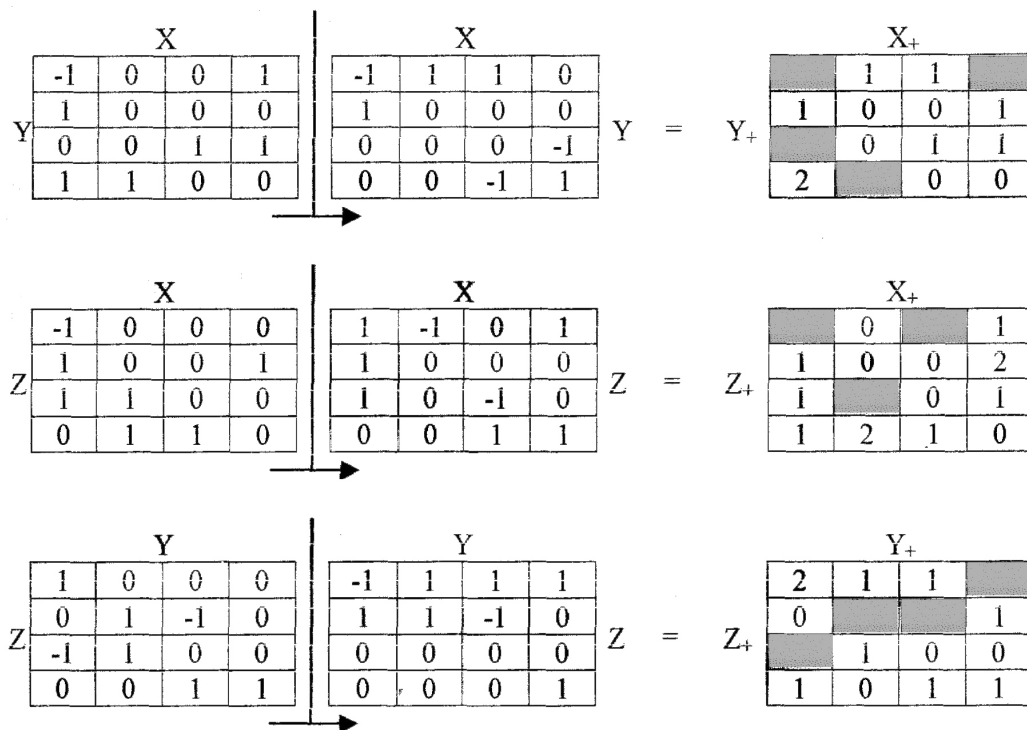


Рисунок 2 – Формирование матриц взаимного опроса

В дальнейшем, комбинации, в которых присутствуют заштрихованные элементы, не рассматриваются. Это существенно упрощает процедуру выбора, так как при отрицательных взаимоотношениях двух членов экипажей, любой третий член ничего исправить не может. Эта ситуация соответствует заштрихованным клеткам сводной таблицы комбинаций. В остальных клетках записывается сумма соответствующих элементов матриц Y_+X_+ , Z_+X_+ , Z_+Y_+ (табл. 2).

Из оставшихся комбинаций необходимо определить набор таких четырех непересекающихся комбинаций, для которых $\sum_{i=1}^n R_i \rightarrow \max$. Как правило, таких комбинаций может быть несколько.

Алгоритм формирования и анализа заключается в следующем. Выбирается строка с минимальным числом элементов. Далее рассматриваются все элементы этой строки следующим образом, относительно выбранного элемента вычеркиваются соответствующие строки и столбцы. Сводная матрица примет следующий вид (табл. 3, которая отображает случай, когда был выбран элемент $z_2x_1y_4$).

Таблица 2

Сводная таблица комбинаций

		Y_{1+}				Y_{2+}				Y_{3+}				Y_{4+}			
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1	x_2	x_3	x_4
Z_+	z_1		3				1				1		3				
	z_2		1	1										4		1	3
	z_3					3		1	3			1	2	3			1
	z_4		4	3		2	2	1	1		3	3	2	4		2	1

Таблица 3

Укороченная сводная таблица комбинаций

		Y_{1+}			Y_{2+}			Y_{3+}		
		x_2	x_3	x_4	x_2	x_3	x_4	x_2	x_3	x_4
Z_+	z_1	3			1		3	1		3
	z_3					1	3		1	2
	z_4	4	3		2	1	1	3	3	2

В новой укороченной таблице вновь выбирается строка с минимальным числом элементов, и просматриваются все элементы этой строки, причем относительно каждого элемента снова вычеркиваются соответствующие строки и столбцы и так далее.

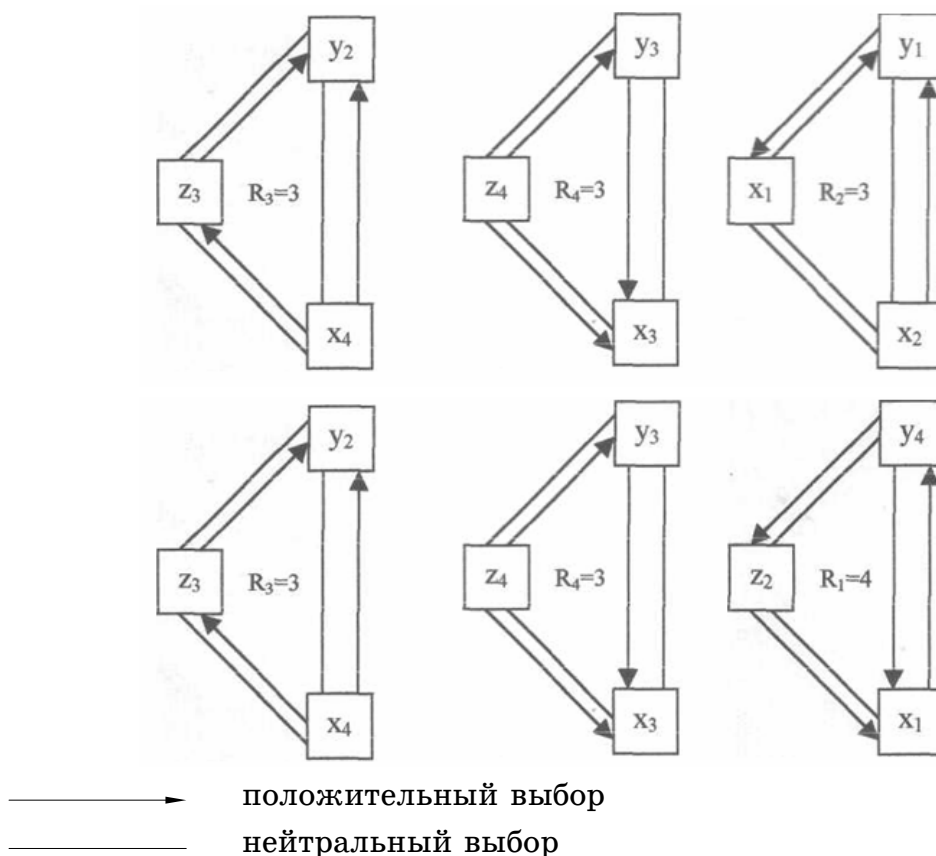


Рисунок 3 – Структура взаимоотношений в экипажах

В частности, для данных таблицы 1 есть один набор экипажей $z_1 y_4 x_1 - z_1 y_1 x_2 - z_3 y_2 x_4 - z_4 y_3 x_3$ с $\sum_{i=1}^n R_i = 13 = \max$ (структура их взаимоотношений представлена на рис.3), несколько, например $z_2 y_4 x_4 - z_1 y_1 x_2 - z_3 y_2 x_1 - z_4 y_3 x_3$ с $\sum_{i=1}^n R_i = 12$.

Следует отметить, что данный подход может быть использован и при ответе на целый ряд вопросов-критериев. В этом случае таблицы вида 1 налагаются друг на друга с суммированием значений соответствующих клеток каждой таблицы. Далее суммарная таблица обрабатывается указанным выше способом.

Экспериментально установлено [2], что более успешно выполняют учебные задачи те коллективы операторов, у которых не только выше социометрический показатель, но и более высокая степень психологической совместимости.

Степень психологической совместимости членов экипажа может быть оценена с помощью гомеостата [1], представляющего собой специальное устройство, состоящее из пульта экспериментатора и пульта операторов. На каждом из пультов операторов находится стрелочный прибор и потенциометр, меняющий положение стрелки прибора. В задачу каждого из операторов входит установление стрелки прибора в нуль, которая в исходном состоянии показывает некоторое значение. Все пульты операторов взаимосвязаны между собой, то есть вращение ручки одним оператором приводит к изменению положения стрелки не только своего прибора, но и приборов других операторов. Задачей группы операторов является установление стрелок всех приборов в нулевое положение. Принципиальной возможностью решения такой задачи является условие:

$$D_k \neq 0 \quad (5)$$

где D_k — определитель матрицы, составленной из коэффициентов взаимного влияния, в которой $k_{ij}(i = j) = 1$, $k_{ij}(i \neq j) = k$.

Заключение

В статье предложен метод формирования эффективных рабочих групп операторов, основанный на достижении максимума социометрического показателя совместимости членов рабочих групп. Предложенный алгоритм существенно сокращает число вариантов и исключает тупиковые ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах «Человек-техника». — М.:Машиностроение, 1983. — С. 224.
2. Зайцев В.С. Системный анализ операторской деятельности. — М.:Радио и связь, 1990. — С. 120.

Получено 02.09.2010г.

УДК 621.454.2

А.В. Сичевой, С.А. Давыдов

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАКЕТ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ

Анотація. Описано методологічне підґрунтя холодних технологічних випробувань ракет-носіїв та приведено результати впровадження таких випробувань.

Введение

Не ставя задачи изложения общих методов технического контроля качества и не обсуждая здесь все возможные подходы к теоретическому описанию процессов при диагностировании, приведем ряд определений и положений, необходимых для дальнейшего изложения [1].

Любой технический объект после проектирования проходит две основные стадии "жизни" - изготовление и эксплуатацию. Основное назначение диагностики - повышение надежности объектов на этапе их эксплуатации, а также предотвращение производственного брака на этапе изготовления объектов.

Диагностирование пневмогидравлических систем ракет

Применительно к задачам, решаемым технической диагностикой на стадии изготовления можно выделить периоды приемки комплектующих изделий (для пневмогидравлической системы подачи (ПГСП) ракеты - это различные автономные испытания агрегатов и систем), а также период сдачи окончательно собранного изделия - приемо-сдаточные испытания. Диагностирование объекта на стадии эксплуатации (телеметрическая информация в полете, проверки при регламентных работах в период хранения и т.д.) не входит в задачи данного рассмотрения.

Объект, удовлетворяющий всем требованиям нормативно-технической документации, является исправным.

Объект является работоспособным, если он может выполнять все заданные функции с сохранением значений заданных параметров в требуемых (допустимых) пределах.

© Сичевой А.В., Давыдов С.А., 2010

Неисправное и неработоспособное состояния могут быть детализированы путем указания соответствующих дефектов. Поиск и обнаружение дефектов объединяются общим термином "диагностирование", результатом которого является диагноз.

Диагностирование технического состояния объекта осуществляется средствами диагностирования, которые могут быть аппаратными и программными. Средства и объект диагностирования, взаимодействующие между собой, образуют систему диагностирования.

Различают [2] системы тестового и функционального диагностирования. В ракетной технике примером систем диагностирования, построенных по функциональному принципу, могут быть огневые технологические и контрольно-технологические испытания (ОПИ и КТИ).

В системах тестового диагностирования на объект подаются специально организуемые тестовые воздействия. Следует отметить, что с точки зрения теории управления, системы тестового диагностирования являются системами управления, поскольку в них реализуется выработка и осуществление специально организованных тестовых (т.е. управляющих) воздействий на объект с целью определения технического состояния.

Задачи изучения физических свойств объектов и их возможных дефектов достаточно специфичны и вряд ли поддаются какому-либо обобщению из-за многообразия и различных классов объектов. Так для ПГСР различных классов ракет, например, с различными по кратности срабатывания элементами автоматики, практически невозможен общий подход к формализации объекта диагностирования и унификации средств диагностирования и тестовых воздействий. Подобные факты приводят к выводу о необходимости предусматривать еще на этапе проектирования возможность диагностирования сложного изделия при его производстве. Если предшествующего опыта по диагностированию разрабатываемого объекта нет или он недостаточен, то существенной становится роль разработчика, работающего рядом со специалистом-диагностом либо, что еще лучше, являющегося таковым.

В результате такой работы в процессе проектирования системы должен быть определен (например, явно в виде списка или неявно

через указание свойств) перечень дефектов, подлежащих обнаружению в условиях производства объекта, а также определены признаки проявления дефектов, включаемых в перечень. При формировании перечня учитывается опыт производства и эксплуатации аналогичных объектов, статистические данные по дефектам и т.п. Другим результатом анализа объекта должно быть установление требуемой или желаемой полноты обнаружения дефектов, а также глубины их поиска, т.е. точности, с которой должны указываться при диагностировании места залегания дефектов.

В процессе разработки метода и системы диагностирования создается формализованная модель объекта диагностирования, т.е. его описание в аналитической, графической, табличной или другой форме. Такие модели, в зависимости от свойств объекта могут быть явными и неявными. Явные модели наряду с описанием исправного объекта содержат описание каждой из его неисправных модификаций. Неявная модель объекта диагностирования предполагает наличие только одного описания, например исправного объекта, формализованных моделей дефектов и правил получения по заданному описанию и по моделям дефектов описаний всех неисправных модификаций объекта.

В случае диагностирования ПГСП, в зависимости от типа диагностируемых систем и способов тестового воздействия при диагностировании, могут применяться как первые, так и вторые.

Модели объектов могут быть функциональные и структурные. Первые отражают только выполняемые объектом (исправным или неисправным) функции, определенные относительно рабочих входов и рабочих выходов объекта, вторые, кроме того, содержат информацию о внутренней организации объекта, о его структуре. Функциональные модели вполне позволяют решать задачи проверки работоспособности и правильности функционирования объекта. Однако при диагностировании ПГСП ракеты, особенно с одноразовыми элементами автоматики и тупиковыми трактами, для проверки исправности и поиска дефектов с глубиной, большей, чем объект в целом, требуются структурные модели.

Модели объектов диагностирования нужны для построения алгоритмов диагностирования формализованными методами, а также

для формализованного анализа заданных алгоритмов на полноту поиска дефектов и на предмет построения диагностических словарей.

Построение алгоритмов диагностирования заключается в выборе такой совокупности элементарных проверок, по результатам которых можно отличить исправное или работоспособное состояние, или состояние правильного функционирования объекта от его неисправных состояний, а также находить и различать дефекты и группы дефектов.

В рассматриваемых здесь задачах тестового диагностирования, когда состав контрольных точек почти всегда определен предварительно, построение алгоритма представляет собой выбор входных воздействий элементарных проверок - задачу построения тестов.

Эффективность процессов диагностирования определяется не только адекватностью модели и оптимальностью алгоритмов диагностирования, но и в не меньшей степени качеством средств диагностирования. Последние могут быть аппаратными или программными, внешними или встроенными, отличаться степенью автоматизации и специализации. При диагностировании ПГСП применяют обычно полуавтоматические внешние устройства (стенды) с автоматизированной обработкой результатов контроля и последующей экспертной оценкой исходного технического состояния ПГСП. Выбор и разработка средств тестового диагностирования осуществляются с учетом многих факторов: наличия серийного выпуска требуемых средств, наличия их на заводе-изготовителе, массовости выпуска изделия, его сложности, производительности средств диагностирования и т.п.

Задачи технической диагностики ПГСП

Правильное функционирование, т.е. выполнение ПГСП задач, определенных проектной документацией, возможно в том случае, когда все системы, входящие в нее, работают с достаточной надежностью. Надежность систем ПГСП закладывается на этапе проектирования при разработке конструкции узлов и агрегатов систем (проектная надежность). Основными документами, определяющими комплекс конструктивных, научно-методических и организационных мероприятий, направленных на достижение

требуемых показателей надежности, является программа обеспечения надежности.

Проектная надежность подтверждается при выполнении комплексной программы экспериментальной отработки, которая, как уже отмечалось, включает этапы: автономной отработки систем, агрегатов и узлов ПГСП ДУ, автономной отработки систем, комплексной отработки систем в составе изделия при огневых испытаниях и этап летных испытаний в составе РН.

В то же время, надежность функционирования ПГСП определяется не только конструкцией и степенью отработанности входящих в нее элементов, но и особенностями технологического процесса изготовления носителя. То есть, рассматривая надежность конкретного образца РН, следует принимать во внимание производственно-технологическую надежность (ПТН) изделия.

ПТН изделия определяется совокупностью его свойств и параметров, полученных в результате изготовления данного образца и характеризующих качество изготовления. Оценка качества производится в процессе контроля технического состояния изделия. Применение диагностирования систем изделия на этом этапе позволяет существенно повысить ПТН, поскольку проведение диагностирования на заключительном этапе контроля технического состояния повышает достоверность результатов контроля.

В общем случае, вероятность выполнения задачи системой может быть определена как функция векторов

$$P_{в.з.} = f(P_n < l >, \sigma < m >, A < k >, \mathcal{E}_{тр}),$$

где $P_n < l >$ - вектор вероятностей безотказной работы системы, состоящей из l элементов; $\sigma < m >$ - вектор среднеквадратичных отклонений m параметров системы, характеризующих ее функционирование; $A < k >$ - вектор характеристик условий применения системы; $\mathcal{E}_{тр.}$ - требуемый эффект применения технической системы.

Говоря о диагностировании с целью повышения ПТН, мы подразумеваем увеличение вектора $P_n < l >$, который, в свою очередь, является функцией вероятности безотказной работы элемента вследствие отработанности его конструкции $P_{о.к.}$, вероятности

безотказной работы элемента из-за отсутствия технологического дефекта P_t , степени охвата диагностированием системы O_d , т.е.

$$P_n < l >= f_2(P_{o.k.}, P_m, O_d).$$

Или

$$P_n < l >= f'_2(P_{o.k.}) + f''_2(P_m, O_d),$$

так как взаимосвязь вероятности безотказной работы системы $P_n < l >$ с соответствующими составляющими $P_{o.k.}$ и P_t , O_d обусловлена различными факторами. Составляющая $P_{o.k.}$, определяемая степенью отработанности конструкции и ее совершенством, позволяет оценить проектную надежность системы. Составляющие P_t и O_d – определяют ПТН. Достоверность полученной информации о техническом состоянии системы и ее элементов, степень охвата системы операциями контроля в значительной мере обуславливают ПТН, определяемую как вероятность отсутствия технологического дефекта P_t . Степень охвата диагностированием системы определяется как

$$O_d = \frac{n_k}{n_o},$$

где n_k – число контролируемых элементов (систем), n_o – общее число элементов (систем). В этом случае вероятность безотказной работы системы, состоящей из n_o элементов, может быть определена по формуле:

$$P_t = \frac{n_s}{n_s + n_f},$$

где n_s – число исправных элементов, n_f – число элементов с технологическими дефектами. При этом $n_o = n_s + n_f$.

Повышение качества и достоверности информации о наличии дефекта в системе и охват диагностированием максимального числа элементов системы в идеальном случае означают $n_f = 0$ и, как следствие, $P_t = 1$.

Совершенствование средств и методов контроля ПГСР ракеты-носителя (РН), повышение степени охвата диагностированием системы приводят к повышению ПТН системы и, следовательно, к повышению надежности всей РН, как вероятности выполнения поставленной задачи $P_{в.з.}$.

Таким образом, потребность повышения надежности систем ракеты с целью удовлетворения требований, предъявляемых к космическим ракетным комплексам, продиктовала необходимость создания комплексной системы методологического обеспечения диагностики ПГСР РН, которая реализуется от этапа проектирования до изготовления изделия.

При этом было необходимо:

- провести анализ современных способов определения исходного технического состояния пневмогидравлических систем РН;
- определить перечень возможных основных неисправностей ПГСР и характеристики трактов системы, определяющие ее состояние;
- разработать требования к способам испытаний ПГСР и общую систему подготовки и проведения диагностирования;
- предложить сами способы испытаний с учетом специфики ПГС ракет различного класса, учитывая при этом, что риск привнесения неисправностей во время самих испытаний и после их окончания должен быть исключен или сведен к минимуму.

Одновременно нужно было четко определить место таких испытаний в технологическом процессе изготовления РН, поскольку ясно, что чем выше степень готовности изделия к моменту проведения испытаний, тем выше охват систем диагностированием и достовернее результаты. Эта работа была проведена совместно ГКБ «Южное» и Днепропетровским национальным университетом. В результате была разработана система холодных технологических испытаний ПГСР и ее стендовое обеспечение, внедренные в практику производства РН «Зенит» и РН «Энергия» [3, 4].

Выводы

Введение холодных технологических испытаний ПГСР обеспечило контроль, во-первых, отсутствия засорения магистралей и контроль правильности расстановки расходных сопел и шайб. Эта методика, основана на закономерности перетекания газов по тракту из различных полостей, с замером отклонений от этих законов; во-вторых, функционирования электропневмоаппаратуры и агрегатов автоматики, правильности адресации магистралей и электрических цепей; в-третьих, точности настройки регулирования агрегатов и сигнализаторов; в-четвертых, герметичности отдельных

пневмогидравлических систем и систем питания и управления пневмогидравликой в целом.

Эффективность конструкторских мер по обеспечению надежности блока Ц РН «Энергия» проверена при холодных технологических испытаниях пневмогидравлической системы блока Ц экспериментальных ракет 4М, 5С [5]. При этом на заключительном этапе было выявлено и устранено 11 дефектов, которые могли бы привести к возникновению нештатной ситуации в ходе дальнейших работ. Кроме того, с помощью отработанной методики на основе экспериментальных данных по гидравлическим характеристикам стало возможно дать оценку состояния магистралей систем ракеты 5С и в том числе принять оперативное решение по отклонению этих характеристик магистралей термостатирования.

Холодные технологические испытания блока А проводились с подачей газов высокого давления со срабатыванием всей электропневмоавтоматики и проверкой функционирования концевых контактов и сигнализаторов давления. При этом полученные характеристики сравниваются с эталонными. Непосредственно в ходе огневых технологических испытаний проверялась прямым или косвенным путем работа 64 элементов автоматики, не проверялось 16 элементов. При холодных технологических испытаниях не проверялось только 4 – это пироклапаны, которые проверяются электрическим методом «обтекания». Проведение холодных технологических испытаний позволило проверить точность настройки сигнализаторов давления и редуктора, правильность адресации, состояние магистралей и электрических цепей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Ключев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др.; Под общ. ред. В.В. Ключева.– М.: Машиностроение, 1989.– 672 с.
2. Биргер И.А. Техническая диагностика.– М.: Машиностроение, 1978.– 240 с.
3. А.с. 258447 СССР. Способ испытания жидкостных ракетных двигательных установок / В.С. Соколов, Л.Д. Кучма, Ю.В. Сичевой, И.Г. Писарев, Н.Н. Межуев.
4. А.с. 281026 СССР. Стенд для испытания бортовой пневмогидравлической системы жидкостной ракеты на функционирование / О.В. Баклюков, Л.Л. Украинец, А.В. Сичевой, Ю.В. Сичевой, Н.Н. Межуев.
5. Губанов Б.И. . Триумф и трагедия «Энергии». Размышления главного конструктора: В 4-х томах.– Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского ин-та Экон. развития, 1988. Т.3: «Энергия» – «Буран».– 432с.

УДК 621.923

С.Л. Негруб

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ЭЛАСТИЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА И КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Анотація. У даній роботі поставлена задача перевірки ряду теоретичних висновків, і підкріплення їх практичними експериментами. В основу представлених досліджень покладена задача удосконалення волокна, з якого можна було б виготовити абразивний високоефективний інструмент.

Ключевые слова: полимер-абразивный эластичный инструмент; повышение производительности обработки; геометрические параметры инструмента; величина начальной деформации; величина опорного угла; шероховатость поверхности; зернистость абразивных частиц; температура плавления полимера; время обработки; профилограмма поверхности.

Введение

При проведении теоретических исследований различных методов обработки в технологии машиностроения важным фактором является подтверждение полученных результатов экспериментальными методами. При этом основными показателями является производительность процесса и шероховатость обработанной поверхности.

Постановка задачи

В данной работе поставлена задача проверки ряда теоретических выводов [1-4], и подкрепление их практическими экспериментами в части влияния деформации инструмента, зернистости абразивных частиц на шероховатость обработанной поверхности.

Основная часть

К критериям эффективности шлифования относят также и полученное качество поверхности после обработки. Одним из этих параметров является шероховатость поверхности после обработки. Исследованиям подвергались инструменты с разными геометрическими параметрами, так как свободная длина рабочего

элемента непосредственно влияет на жесткость инструмента и обеспечивает способность инструмента к деформированию. При изучении влияния величины деформации инструмента на величину шероховатости, был проведен ряд экспериментов, данные которого позволяют сделать следующий вывод: при увеличении деформации инструмента шероховатость обработанной поверхности снижается. Обработка велась ЭПАИ фирмы OSBORN диаметрами 125 мм, 250 мм, 300 мм с карбидом кремния зернистостью 160/100, 125/100, 63/40, 40/20 с одинаковым процентным содержанием абразива в волокне 15%. Снижение шероховатости (рис. 1) происходит благодаря большему числу абразивных зерен, одновременно вступающих в обработку. В зависимости от диаметра изменяется жесткость применяемого инструмента. Исходя из этого, назначалась величина деформации инструмента h от 0 до 50 мм.

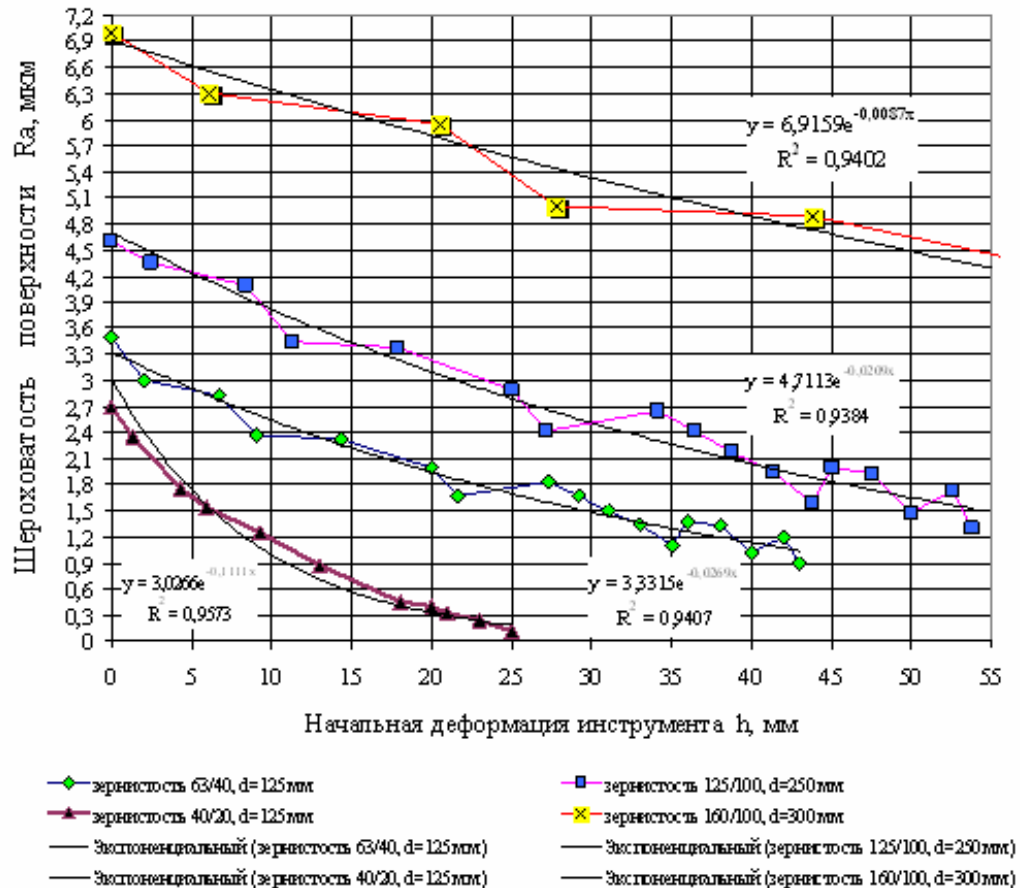


Рисунок 1 - Зависимость шероховатости от величины деформации инструмента

При обработке инструментом с большей зернистостью карбида кремния использовались образцы с разной исходной шероховатостью. Характер снижения шероховатости идентичен (рис. 2) [3]. Снизить шероховатость поверхности можно также использованием комбинации инструментов с разной зернистостью абразива, осуществляя обработку за несколько переходов. Зависимость (рис. 3) иллюстрирует процесс получения заданной шероховатости с использованием инструмента с разной зернистостью. При использовании разной зернистости рабочего элемента можно добиться малых величин шероховатости. Для этого чередуя последовательно инструменты при обработке поверхность подвергают обработке за несколько переходов [3, 4]. При обработке образцов стали 45 применялись инструменты: на первом переходе $d=150$ мм, карбид кремния зеленый зернистостью 100/80, $V_{кр.}=35$ м/с, охлаждение 0,5...1,5 % раствором кальцинированной соды по ГОСТ 5100-85, расход СОЖ – 3-4 л/мин., тобр.=1 мин., $h=10$ мм, на втором этапе - $d=150$ мм, карбид кремния зеленый зернистостью 80/63, $V_{кр.}=35$ м/с, с охлаждением 0,5...1,5 % раствором кальцинированной соды по ГОСТ 5100-85, расход СОЖ – 3-4 л/мин., тобр.=0,5 мин., $h=7$ мм, на третьем этапе обработка проводилась инструментом $d=150$ мм, карбид кремния зеленый зернистостью 63/40, $V_{кр.}=35$ м/с, с охлаждением 0,5...1,5 % раствором кальцинированной соды по ГОСТ 5100-85, расход СОЖ – 3-4 л/мин., тобр.=0,5 мин., $h=4$ мм.

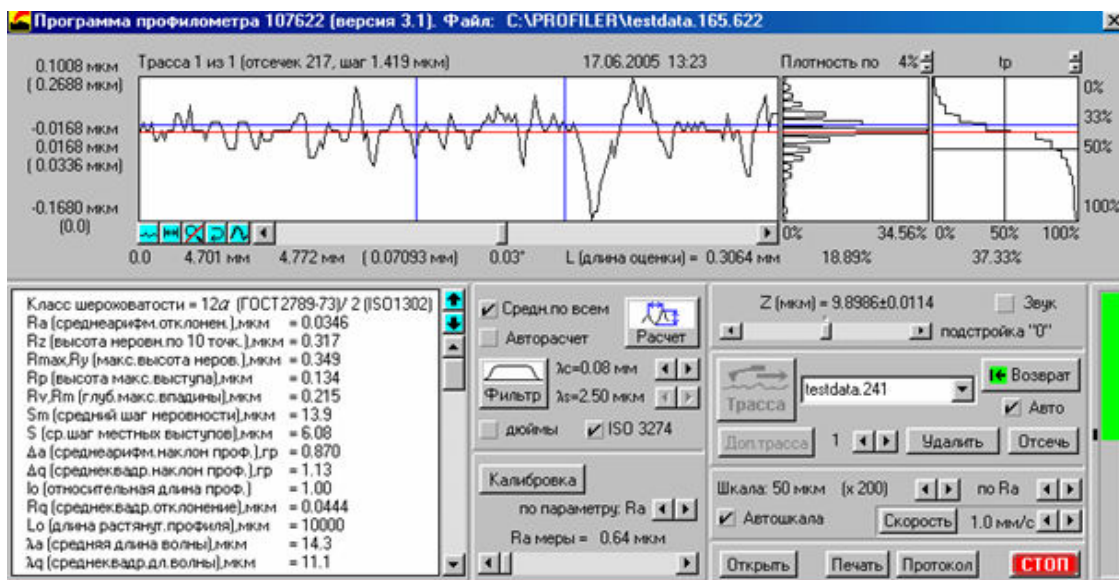


Рисунок 2 - Профилограмма микрорельефа поверхности одного из образцов

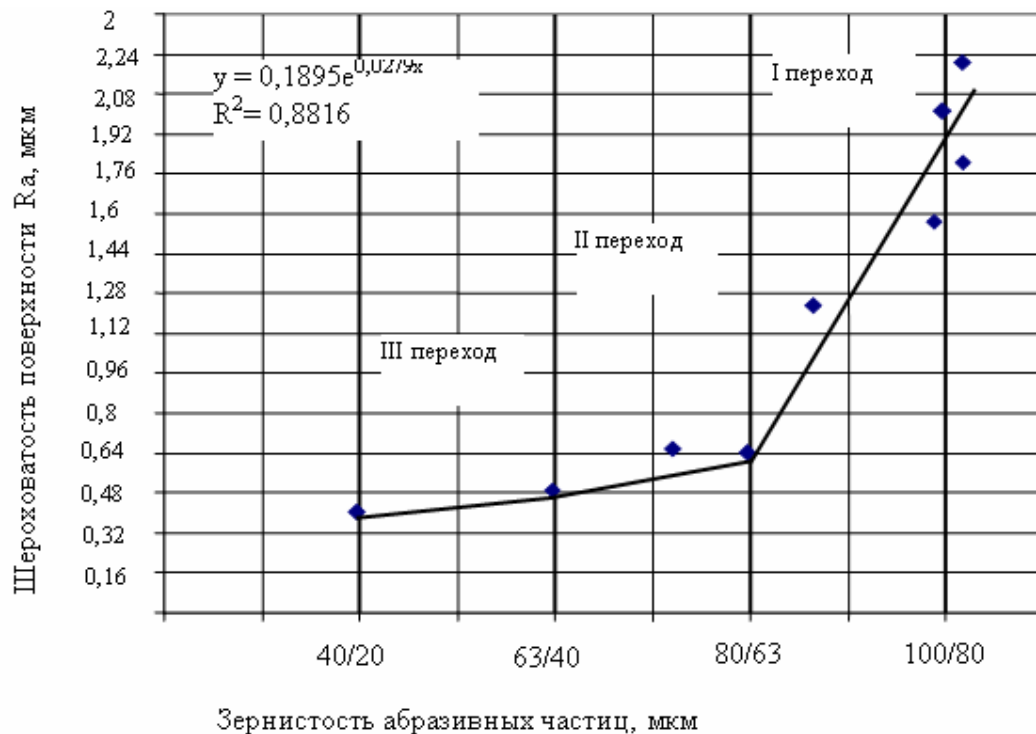


Рисунок 3 - Зависимость шероховатости поверхности от зернистости абразива

Безусловно, из перечисленных факторов нельзя не упомянуть фактор времени или продолжительность обработки. В течение всех экспериментов фиксировалось время обработки. Было отмечено, что в некоторый период времени при продолжительной обработке поверхности на одном ее участке снизить шероховатость не удавалось. При обработке в течение меньшего периода времени зафиксированная величина шероховатости была ниже. Однако когда проанализировали величины шероховатости поверхности в разные моменты обработки (рис. 4-6), то оказалось, что первые 30% времени происходит процесс интенсивного уменьшения шероховатости, после чего процесс замедляется и такого резкого уменьшения не происходит. Возрастание величины шероховатости после достижения требуемого уровня – нежелательное явление. Для его устранения необходимо задавать такую величину продольной подачи, чтобы инструмент не проходил уже обработанный участок повторно. Производительность процесса зависит от времени обработки.

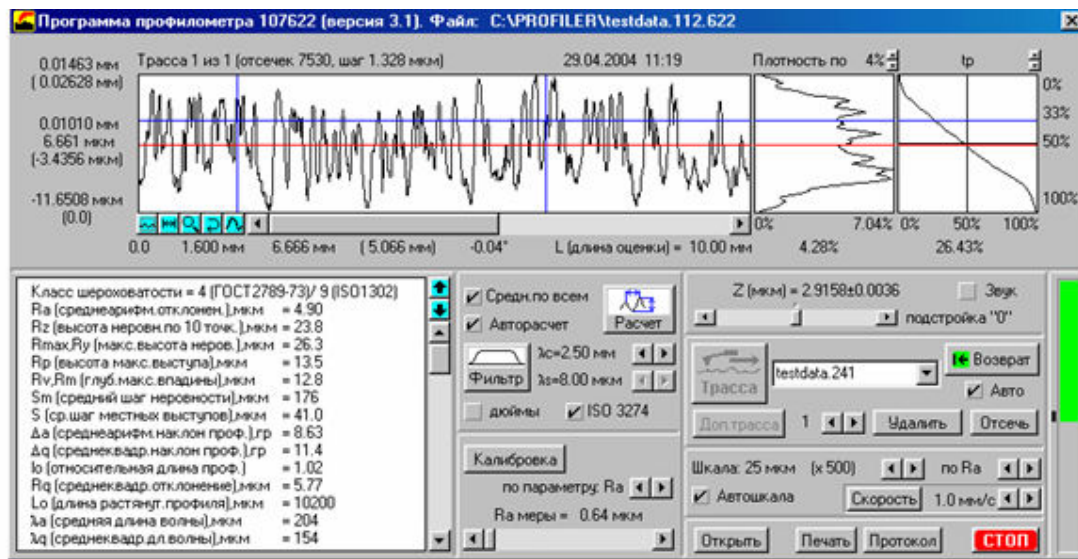


Рисунок 4 - Профилограмма поверхности образца после 20 с обработки (начальная $Ra_{6,3}$ мкм)

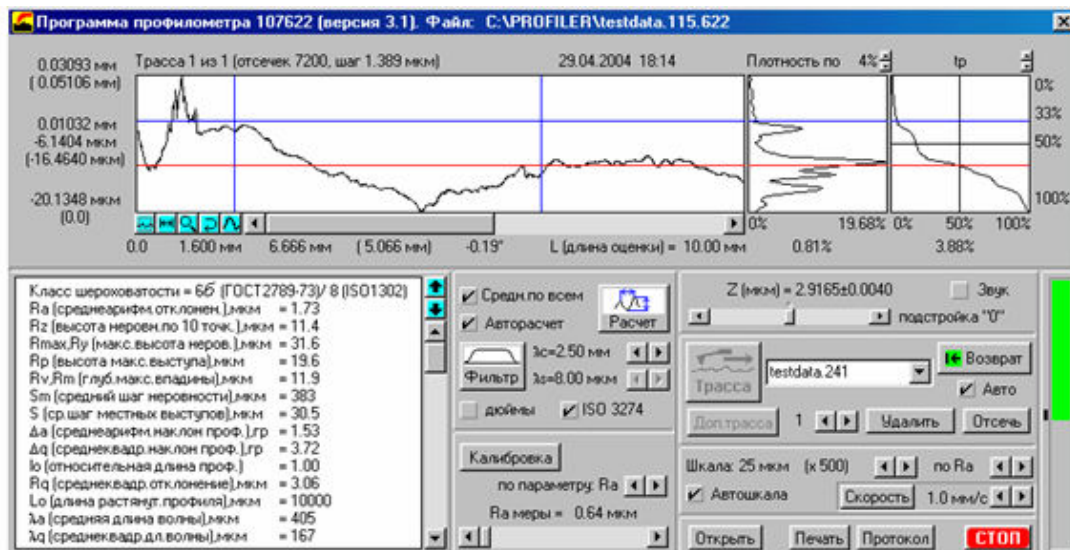


Рисунок 5 - Профилограмма поверхности образца после 45 с обработки (начальная $Ra_{4,9}$ мкм)

Вскоре за этим начинается обратный процесс – шероховатость увеличивается до минимального уровня, абразивные частицы при постоянных режимах обработки внедряются в обработанную поверхность и величина шероховатости увеличивается (рис. 8). Оценивая производительность обработки (рис. 9) [3, 4] как отношение объема снятого материала к объему израсходованного абразива, можно сделать вывод о том, что этот показатель достаточно высок (30). С течением времени производительность обработки увеличивается. Однако наступает момент, когда дальнейшее

увеличение времени обработки не приводит к увеличению производительности.

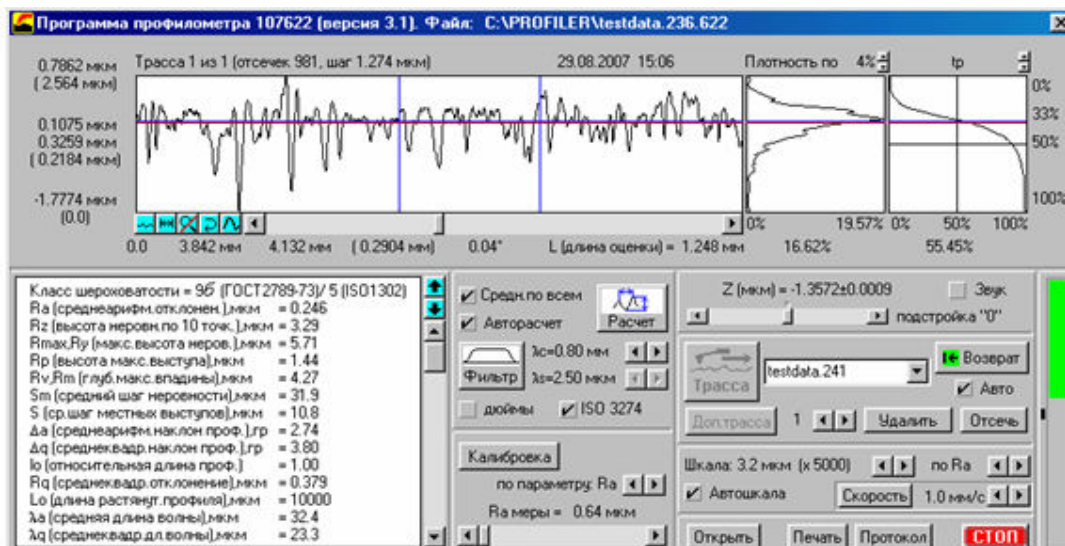


Рисунок 6 - Профилограмма поверхности образца после 80 с обработки (начальная Ra1,73 мкм)

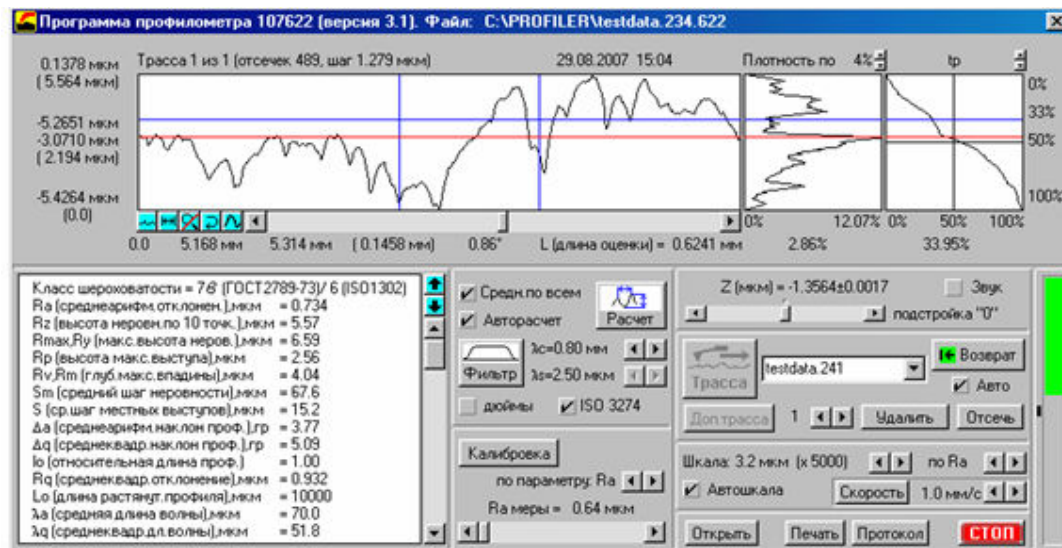


Рисунок 7 - Профилограмма поверхности образца после 125 с обработки (начальная Ra=0,25 мкм)

Это объясняется тем, что с течением времени происходит получение необходимых параметров, отвечающих предъявленным требованиям, но при дальнейшей обработке абразивные частицы, внедряясь в поверхность, снова создают устраненную шероховатость и обработку следует продолжать. Поэтому величину подачи следует назначать таким образом, чтобы уже обработанная поверхность не подвергалась обработке ЭПАИ после получения всех необходимых параметров.

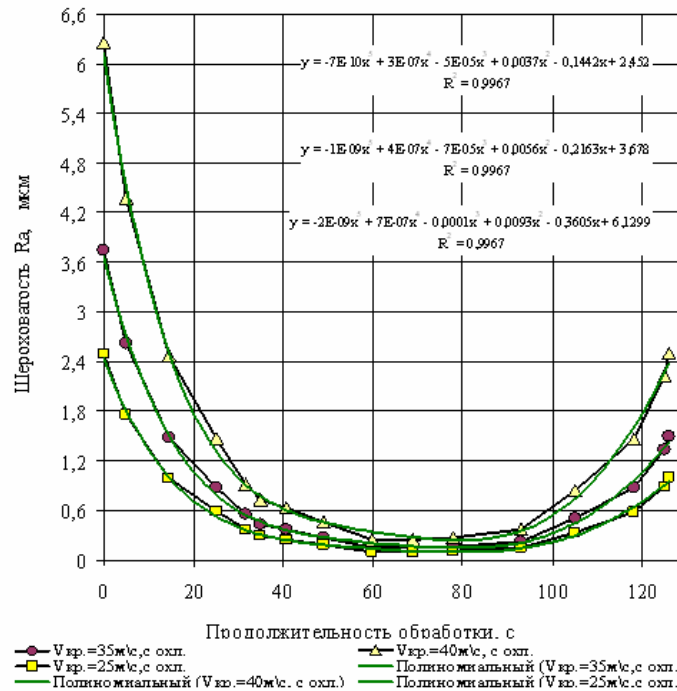


Рисунок 7 - Зависимость шероховатости поверхности от продолжительности обработки

Одним из факторов эффективной обработки является срок эксплуатации инструмента. Известно, что у ЭПАИ наиболее нагруженной частью конструкции является рабочий элемент, защемленный между двумя крепежными элементами. Разрушение обрабатываемой поверхности происходит вследствие ударного воздействия абразива, находящегося в волокне. Под действием центробежных сил динамическая жесткость инструмента возрастает.

Возрастает также интенсивность микроударов с увеличением зернистости и концентрации абразивных зерен в волокне. Однако при этом снижается прочность самого волокна. После входа волокна в зону резания, оно прогибается и скользит по обрабатываемой поверхности до выхода из зоны резания. На этом участке механизм работы ЭПАИ и абразивного круга аналогичны, так как каждое зерно, упруго закрепленное в волокне, осуществляет микрорезание. Эффективность обработки в зоне резания определяется усилием прижатия инструмента к поверхности. Выбор параметров ЭПАИ и режимов обработки во многом определяется тепловыми процессами, протекающими при обработке. Нагрев волокна происходит в результате выделения тепла в момент удара зерна по поверхности и значительно интенсифицируется в зоне микрорезания. Проведенные

исследования позволили сделать вывод, что инструмент сохраняет работоспособность в пределе первой зоны (рис. 9).

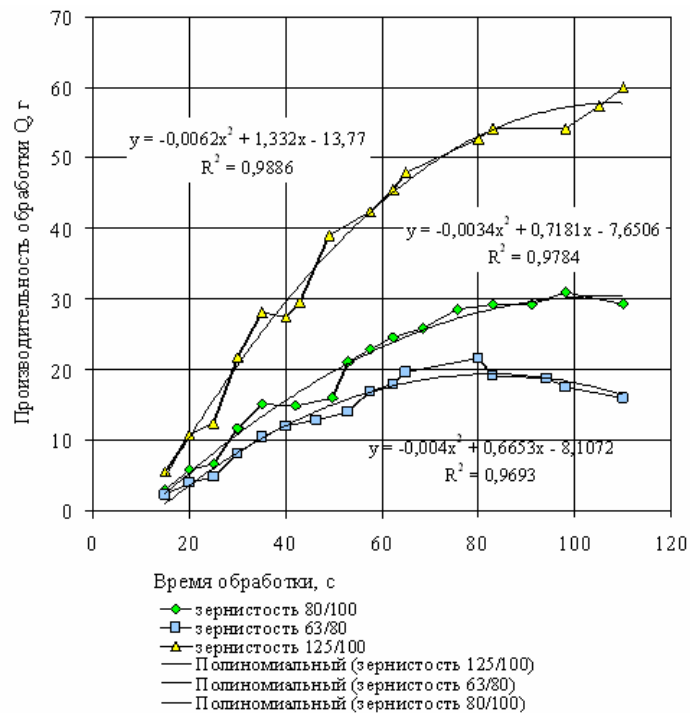


Рисунок 8 - Зависимость производительности процесса от времени обработки

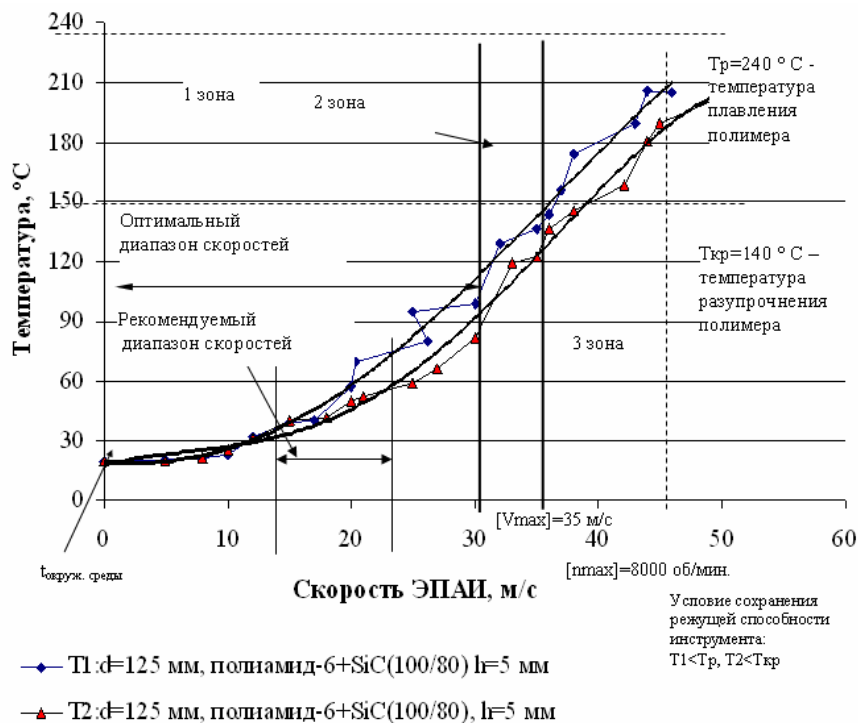


Рисунок 9 - Зависимость температуры от скорости ЭПАИ при постоянной начальной деформации h

В промежутке скоростей от 0 до 30 м/с инструмент не утрачивает работоспособность, так как температуры T_1 и T_2 не достигли критических значений. При увеличении скорости вращения до 35 м/с температуры приближаются к критическим значениям, волокно может утратить прочность в точке заделки, а в зоне резания утрачивается прочность полимерной связи, как следствие происходит более быстрое выкрашивание абразивных частиц, но процесс абразивной обработки продолжается. При повышении скорости свыше 35 м/с температуры находятся в зоне 3. Их значения превышают 140°C , при достижении скорости в 50 м/с значение температур достигнет величины 240°C , при которой прочность полимера утрачивается полностью, он расплавляется и заволакивает собою обрабатываемую поверхность, вводя необходимость дальнейшего ее очищения. Для преодоления указанного недостатка возможно применение смазывающе-охлаждающих жидкостей, которые бы удерживали температуры в пределах допустимых значений, в тоже время позволяли вести обработку с большей скоростью резания. При проводимых исследованиях в качестве СОЖ использовался 0,5...1,5 % раствор кальцинированной соды по ГОСТ 5100-85, расход СОЖ – 3-4 л/мин. Обработка плоского образца стали 45 велась со скоростью 40 м/с, $h=8$ мм, абразивные частицы – карбид кремния зеленый зернистостью 100/80, $d=150$ мм, подача заготовки 1,5 м/мин. Температура на торцах волокон не достигала 140°C .

Выводы:

1. Важным фактором является повышение шероховатости после получения заданного уровня микронеровностей, из-за повторного нанесения на поверхность шероховатости обрабатывающим инструментом. Для устранения этого явления необходимо контролировать величину продольной подачи, с тем, чтобы не допускать контакта инструмента с уже обработанной до необходимого состояния поверхности.

2. Снижать шероховатость поверхности можно не только путем уменьшения зернистости инструмента, но и уменьшая величину деформации инструмента с той же зернистостью.

3. При обработке заготовок без охлаждения рекомендуется не превышать величину скорости резания в 35 м/с. При обработке с

охлаждением можно использовать диапазон более высоких значений, руководствуясь рекомендациями изготовителей инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л. Технологические возможности шлифования полимер-абразивными кругами //Материалы межд.науч.-техн.конф.4-6.06.02, «Научно-технические проблемы станкостроения, производства технологической оснастки и инструмента». - Одесса, Киев: АТМ Украины, 2002.- С. 102-104;80. Проволоцкий А.Е., Колесник И.А., Негруб С.Л.
2. Аналитические исследования прочности волокна полимер-абразивного инструмента. - «Резание и инструмент в технологических системах». - Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. - Вып. 63.- С. 121-125.;
- 3.Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л. Экспериментальное исследование параметров обработки эластичными полимер – абразивными инструментами // Сучасні технології у машинобудуванні: Зб. наук. статей /За заг. Ред. А.І. Грабченка. - Том 1. - Харьков: НТУ "ХПИ". - 2006. - С. 171-184.
- 4.Негруб С.Л. Повышение эффективности финишной обработки эластичными полимер – абразивными инструментами: Автореф. дис. кандидата техн. наук: НМетАУ. – Днепропетровск., 2008. – 26 с.

Получено 05.09.2010г.

УДК 621.9.06-539

В.А. Маковцев

СИНУСНАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА БУДУЩЕГО

Анотація. Запропоновані пристрої розширюють технологічні можливості існуючого верстатного обладнання при механічній обробці з високою точністю великогабаритних виробів великої маси, анулюють одноцільові нерозбірні похилі стаціонарні пристрої, значно знижують собівартість продукції, що випускається і скорочують терміни підготовки виробництва нових виробів.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В машиностроении для механической обработки наклонных поверхностей и отверстий в деталях, узлах и сборочных единицах (ДСЕ) применяются различные типовые базовые универсальные наклонные приспособления:

- столы поворотные;
- столы универсальные;
- универсально-сборные приспособления (УСП);
- универсальные наклонные подставки;
- синусные линейки и так далее.

Однако, несмотря на значительное количество универсальных наклонных приспособлений, при оснащении ДСЕ авиационной и ракетно-космической техники разрабатывают и применяют одноцелевые неразборные наклонные специальные приспособления-клинья (ННСП) различных геометрических параметров и вариантов исполнения габаритами от 100...500 мм до 3000 мм и более, в зависимости от размеров обрабатываемой ДСЕ. При этом ННСП-клинья применяются практически для всех видов механической обработки: при фрезеровании, сверлении, строгании, шлифовании, токарно-карусельных работах и т.д.

Приспособления-клинья разрабатывают и применяют потому, что существующие универсальные наклонные приспособления систем станочной оснастки давно не удовлетворяют потребностям производства или по своим размерам (малые размеры), либо по

недостаточной точности и жесткости. ННСП-клинья фактически дополняют существующие универсальные наклонные приспособления. После механообработки ДСЕ изделий приспособления-клинья, как правило, сдаются на хранение; они занимают значительную площадь цехов и кладовых. Изготовление ННСП-клиньев требует значительных материальных затрат, особенно для приспособлений габаритами 500...3000 мм и более.

Основная часть. Снижение затрат на оснастку и повышение оснащенности производства достигается внедрением различных систем переналаживаемой технологической оснастки (ПТО). Для решения проблемы автором предложена замена стационарных ННСП-клиньев на переналаживаемые клинья, которые заменяют универсальные наклонные приспособления, дополняющиеся стационарными ННСП-клиньями. Переналаживаемый клин открывает в машиностроении новую систему построения приспособлений – систему переналаживаемых клиньев, не имеющих ограничений в размерах и нагрузке, дающих при этом возможность обрабатывать наклонные поверхности и отверстия в ДСЕ изделий с точностью до секундных величин. Такую точность обработки, разметочных и контрольно-измерительных работ возможно добиться лишь при использовании синусной линейки, у которой, согласно данных производственных наблюдений, диапазон углового позиционирования 0-30°; габариты обрабатываемых изделий до 0,5 м, а допустимая нагрузка на наклонную плиту до 50 кг. Особенно ценным является то, что механообработка с использованием предложенных переналаживаемых приспособлений в комплекте с существующим станочным оборудованием значительно расширяет технологические возможности последнего настолько, что исключается необходимость дополнительного приобретения дорогих специальных металлорежущих станков; при этом значительно повышаются: точность - до секундных величин; габариты обрабатываемых ДСЕ - до метров и масса ДСЕ - до тонных величин, при механической обработке наклонных поверхностей и отверстий крупногабаритных изделий большой массы (КИБМ).

Ключом к решению проблемы механообработки наклонных поверхностей и отверстий КИБМ и основой для создания новой системы ПТО является переналаживаемый клин (ПК), который

выполняется в одинарном или сдвоенном вариантах, образуя при этом две системы: систему ПК и систему двойного переналаживаемого клина (ДПК), треугольник которых образуется путем механического замыкания расположенных напротив шарнира конца наклонной плиты и основания приспособления при помощи переналаживаемой по высоте и настраиваемой на заданный расчетный размер H жесткой мерной опоры. Данная опора выполняет две функции: является опорой и одновременно катетом прямоугольного треугольника высотой H , то есть размерной величиной. Требуемый угол наклона плиты получают путем вычисления высоты H наладок-мер по соответствующим формулам и установки настроенных на высоту H наладок-мер под опорными роликами на направляющих:

- для переналаживаемого клина (ось шарнира в приспособлении расположена касательно поверхности ролика):

$$H = L \cdot \sin \alpha - (R - R \cdot \cos \alpha); \quad (1)$$

- для переналаживаемого клина (ось шарнира в приспособлении совпадает с осью ролика (как в синусных линейках):

$$H = L \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

В указанных выше формулах:

L - величина базового размера, то есть расстояние от оси шарнира до центра опорного ролика;

R - радиус опорного ролика, который своей срезанной частью крепится к плите; срез ролика повышает общую жесткость приспособления и устойчивость к ударным нагрузкам;

α - требуемый угол наклонного позиционирования плиты; определяется по чертежу ДСЕ.

Для уменьшения ударной нагрузки под опорный ролик также устанавливают ложемент.

Предложенная схема ПК универсальная: по ней осуществляется построение синусных универсальных переналаживаемых приспособлений (СУПП) 18-ти типонаправлений:

1) для ПК в одинарном варианте: плоскостей H , V , W , двойных углов, $\pm 90^\circ$ наклона плиты в однорядных одно- и двухопорных вариантах (5 типонаправлений), а также многорядных многоопорных вариантах ПК (5 типонаправлений). Всего 10 типонаправлений; для ПК в сдвоенном варианте (двойной ПК или

ДПК): плоскостей H , V , W и двойных углов однорядных одно- и двухпорных (4 типонаправления), а также многорядных вариантах типонаправлений ДПК (4 типонаправления). Всего 8 типонаправлений.

Итого – 18 типонаправлений приспособлений предложенной системы ПТО.

Каждое из указанных выше 18 типонаправлений имеет свои различные типы приспособлений: синусные клинья, синусные прямоугольные наклонные столы, синусные поворотные наклонные столы, синусные поворотные наклонные столы с ручным приводом, синусные поворотные наклонные столы с наладкой, синусные универсальные линейки, синусные универсальные линейки с поворотной планшайбой, синусные кондукторы с наклонной плитой, синусные кондукторы с поворотной плитой, синусные разметочные устройства и так далее.

СУПП в системе ПК – это так называемые односторонние приспособления, в которых опорный ролик, настроенная на расчетный размер концевая наладка-мера и направляющие расположены по одну сторону от оси вращения наклонной плиты приспособления. Предложенные односторонние приспособления требуют значительных усилий при подъеме и угловом позиционировании наклонной плиты.

Имеется развитие СУПП в системе двойного переналаживаемого клина (ДПК), реализуемой в синусных универсальных переналаживаемых устройствах (СУПУ) разнообразных вариантов. Приспособления системы СУПУ создаются в типонаправлениях плоскостей H , V , W и двойных углов; они также могут быть выполнены в различных симметричных и асимметричных исполнениях по разнообразным вариантам различных кинематических схем. Многорядные СУПУ имеют более двух рядов, то есть трехрядные, четырехрядные и так далее. В данной статье кинематические схемы ДПК СУПУ не приводятся. Размеры входящих в СУПУ деталей соответствуют размерам деталей СУПП, однако устройство СУПУ значительно сложнее в конструктивном исполнении.

ДПК СУПУ плоскостей H , V , W и двойных углов расширяют технологические возможности существующего станочного

оборудования и тем самым исключают необходимость дополнительного приобретения дорогих специальных металлорежущих станков; убирают из проектирования одноцелевые ННСП-клинья с наклонными базовыми поверхностями, повышают точность механической обработки, разметочных и контрольно-измерительных работ до секундных величин, значительно сокращают сроки подготовки производства новых изделий с наклонными поверхностями и отверстиями, повышают культуру производства и снижают себестоимость продукции при значительном повышении качества.

Несмотря на то, что предложенные СУПУ сложнее в проектировании и изготовлении, на угловое позиционирование наклонных плит у них затрачиваются гораздо меньшие усилия, чем в СУПП, что в ряде случаев производственной эксплуатации является ценным преимуществом.

По конструкции наклонных плит СУПП и СУПУ разделяются на две группы:

Синусные устройства с прямоугольной формой наклонных плит.

В данную группу входят синусные клинья, синусные прямоугольные наклонные столы с различными пазами, включая пазы УСП, синусные универсальные линейки.

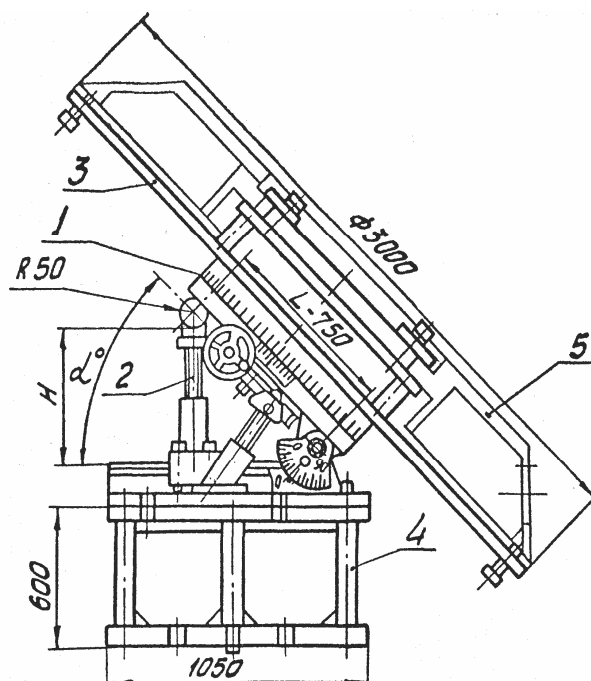
Синусные устройства с наклонной плитой в форме диска (у небольших приспособлений) или поворотной планшайбой (диаметром более 1000 мм). В данную группу СУПП входят различные синусные поворотные наклонные столы и прочие устройства.

В настоящее время из 18-ти предложенных типонаправлений в производстве освоено лишь одно: СУПП горизонтальной плоскости Н. Изготовленные в металле по кинематической схеме ПК горизонтальной плоскости Н и его вариантам, СУПП работают на предприятиях отрасли: на Южном машиностроительном и Павлоградском механическом заводах, обеспечивая успешное решение важных производственных задач.

Максимальное распространение в производственных цехах указанных выше предприятий получили синусные поворотные наклонные столы диаметром планшайбы 1000, 1500 и 2000 мм, на которых проводят механообработку, разметочные и контрольно-

измерительные работы с высокой точностью различных ДСЕ и узлов ракетно-космической техники: головных частей, днищ, конусов, люков, обечаек, обтекателей, отсеков, панелей, проставок, стрингеров, ферм, фитингов, фланцев, цилиндрических корпусов, шпангоутов и других сложных деталей летательных аппаратов. В их числе ракета-носитель «Зенит» по программе «Морской старт», ракета-носитель «Днепр» и другие космические летательные аппараты.

На рис.1 изображена типовая компоновка одностороннего СУПП горизонтальной плоскости Н с наладкой. На данном устройстве (односторонний ПК) обрабатывают детали цилиндрической, конической, сферической и других форм, различные проставки, рамы, фермы и так далее. Размер обрабатываемой детали – до 3000 мм. В зависимости от вида обрабатываемой детали, меняется только наладка 3. Остальные узлы - многократного применения.



1 – стол Ш1000 мм с $L = 750$ мм; 2 – концевая переналаживаемая винтовая мера; 3 – наладка обрабатываемой детали; 4 – подставка; 5 – обрабатываемая деталь

Рисунок 1 – Типовая компоновка одностороннего СУПП горизонтальной плоскости с наладкой

Новизна технического решения подтверждена авторским свидетельством СССР №1326876.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Предстоит дальнейшая работа по созданию и усовершенствованию предложенной системы технологической оснастки, поскольку из 18-ти типонаправлений в производстве сегодня освоено лишь одно – горизонтальной плоскости Н. Освоение остальных 17-ти типонаправлений построения универсальных переналаживаемых приспособлений и внедрение их во всем машиностроительном производстве – там, где требуется осуществлять механическую обработку, разметочные и контрольно-измерительные работы крупногабаритных изделий большой массы с высокой точностью – работа целых коллективов специальных конструкторских бюро приспособлений и инструментального производства машиностроительных предприятий в ближайшем обозримом будущем, в связи с развитием и совершенствованием изделий авиационной и ракетно-космической техники, возрастанием их габаритов и массы с повышением требований к точности изготовления современных ДСЕ изделий при значительном сокращении сроков подготовки производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маковцев В.А. Системное проектирование переналаживаемой технологической оснастки// Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 1(24), Днепропетровск, 2003.- С. 90 – 94.
2. Маковцев В.А. Системное проектирование концевых мер для синусных универсальных переналаживаемых приспособлений// Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 3(56), Днепропетровск, 2008.- С. 60 – 64.
3. А.С. № 1326876 СССР, МКИ^Ч G01B5/24. Синусная линейка. (В.А. Маковцев, А.С. Маковцев).- Опубл. в Б.И., 1987 - №28.- С.136.

Получено 12.09.2010г.

УДК 621.774

О.В. Міщенко, В.У. Григоренко, С.В. Пилипенко
**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ РІЗНОСТІННОСТІ ПРИ ПРОКАТЦІ
ТОНКОСТІННИХ ТРУБ НА СТАНАХ ХПТР**

Анотація. Проведено експериментальні дослідження зміни поперечної різностінності труб при прокатці для випадку класичної схеми подачі-повороту перед прямим ходом кліті. Труби замірювали приборами УЗК в поперечному перерізі вздовж всієї труби по товщині стінки у партії труб до прокатки та після прокатки. Відбирали робочі конуси деформації, та розрізали їх на 27 частин, виміряли товщину стінки у 9 точках в кожному поперечному перерізі. Досліджені в статті випадки прокатки труб відношенням діаметра до товщини стінки $25.4/2.65=9.58$ з великою початковою різностінністю 16-25% показали інтенсивне зменшення абсолютної та відносної різностінності в першій третині конуса деформації. Зміна різностінності труби вздовж конуса деформації більш інтенсивніша при більшій величині подачі.

Вступ

Холодна прокатка труб, на роликових станах, широко використовується в трубній промисловості [1]. Такий процес застосовують для виробництва високоякісних труб. Але окрім використання станів ХПТР по прямому призначенню для виробництва особливо тонкостінних труб їх також застосовують і для виробництва труб з більшими товщинами стінок. Прокатка труб на станах ХПТР являється одним з найскладніших видів пластичної деформації [1].

Проблема

Для розробки технологій виробництва тонкостінних труб потрібні експериментальні данні по зміні поперечної різностінності у процесі холодної прокатки труб роликами. На погляд авторів статті дослідженням зміни поперечної різностінності під час прокатки тонкостінних труб на стані ХПТР, та впливу різних факторів на величину цих змін надано недостатньої уваги.

Аналіз досліджень

В джерелі [3] наведено двофакторний експеримент по дослідженню впливу величини подачі та витяжки (табл. 1, рис. 1).

© Міщенко О.В., Григоренко В.У., Пилипенко С.В., 2010

Труба розміром 12x0,43 мм. прокатувалась з заготовки діаметром 14 мм з товщиною стінки 0,9; 1,2; та 1,3 мм, Заготовка кожного розміру прокатувалась з подачею 2,5, 4, та 6 мм.

Для зручності результати експерименту авторами статті представлено в вигляді тримірного графіка змін величини відносної різностінності (див. рис. 1). З графіку видно, що відносна різностінність труб в основному збільшилась і не завжди зменшення подачі й витяжки веде до зменшення росту різностінності готових труб. Цікаво, що максимальне збільшення різностінності спостерігається на середніх значеннях .

В одному з досліджень величини поперечної різностінності труб прокатаних на стані ХПТР, які викладено в джерелі [2], зразки труб вимірювались кроком в 1 градус мікрометром підвищеної точності.

Таблиця 1

Точність руб прокатаних на стані ХПТР при проведенні
двофакторного експерименту [3]

Тип стану	Маршрут прокатки	Витяжка	Подача, мм	Поперечна різностінність до прокатки		Поперечна різностінність після прокатки	
				мм	%	мм	%
ХПТР 15-30	14x0,9-12x0,43	2,29	2,5	0,925	7,14	0,39	9,14
			4	0,925	6,81	0,39	11,73
			6	0,908	7,93	0,413	11,14
ХПТР 15-30	14x1,15-12x0,43	2,81	2,5	1,124	4,45	0,42	9,52
			4	1,128	4,08	0,434	9,68
			6	1,128	4,61	0,438	8,68
ХПТР 15-30	14x1,3-12,043	3,09	2,5	1,125	7,18	0,401	11,22
			4	1,295	7,95	0,402	11,44
			6	1,317	7,59	4,28	10,5

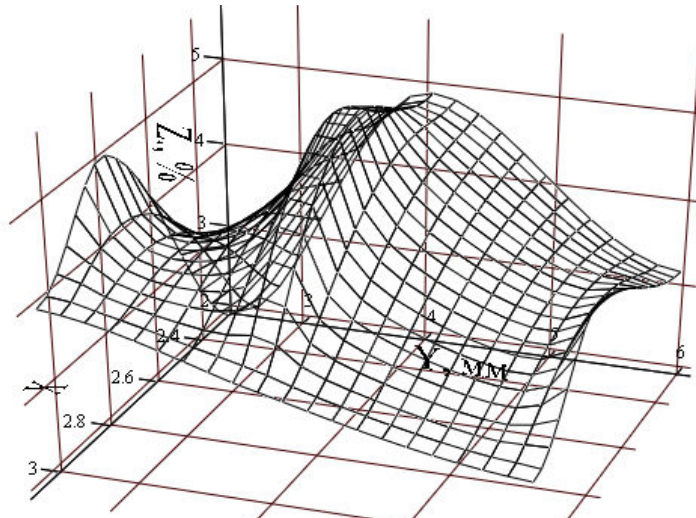


Рисунок 1

Збільшення відносної різностінності труб в залежності від величини подачі та витяжки при прокатці на стані ХПТР: вісь x – витяжка; вісь y – подача, мм; вісь z – величина збільшення відносної різностінності

Результати цього дослідження показано в таблиці 2. З них видно, що на стані ХПТР відносна різностінність змінюється в досить великому проміжку величин. Вона може й зменшуватись і підвищуватись. Велика розбіжність в показниках різностінності труб (див. табл. 2) обумовлюється багатьма факторами які на неї впливають. Це й величина початкової різностінності, величина подачі, величина розвалки, довжина калібруючої ділянки, кількість подвійних рухів в хвилину, та інше [3].

Таблиця 2

Статистичні характеристики відхилень товщини стінки труб прокатаних на стані ХПТР [2]

Розмір труб, мм	Тип стану ХПТР	Товщина стінки, мм			Відносна різностінність	Дисперсія сумарна	Коефіцієнт варіації, %	
		Мін.	Макс.	Середня			Сумарний	Ексцентриситета
7x0,3	4-15	0,3	0,312	0,306	3,92	0,0001	0,9	0,4
17x1,7	15-30	1,66	1,74	1,7	4,71	0,00057	1,4	1,32
25x1,2	15-30	1,13	1,45	1,31	24,43	0,01007	7,6	6,5
7x0,3	15-30	0,32	0,36	0,34	11,76	0,00017	3,9	3,7

Заміри проведені в іншому дослідженні [2] (таб. 3), підтверджують те, що відносна різностінність труб прокатаних на стані ХПТР в деяких випадках навіть збільшується.

В джерелі [4] також викладено дослідження зміни величини різностінності труб, що прокатані на стані ХПТР, але в випадку прокатки труб з невеликою початковою різностінністю (6-8%). Труби були прокатані по маршруту 119,1х4,1-114,3х3,05 на стані ХПТР 60-120. Дослідження зміни різностінності вздовж конуса деформації показують, що коли абсолютна різностінність дещо зменшується, відносна навпаки зростає (рис. 2). В цьому ж джерелі зроблено дослідження зміни величини різностінності 15-ти труб з такою ж невеликою початковою різностінністю.

Таблиця 3

Характеристики зміни відхилень товщини стінки труб прокатаних на стані ХПТР [2]

Тип стану	Маршрут прокатки	Поперечна різностінність до прокатки		Поперечна різностінність після прокатки	
		мм	%	мм	%
ХПТР 30-60	41х1,7-39х1,1	0,09	5	0,078	7
ХПТР 15-30	25х1-23х0,3	0,1	9	0,02	5
ХПТР 15-30	23х0,8-23х0,3	0,07	9	0,05	11

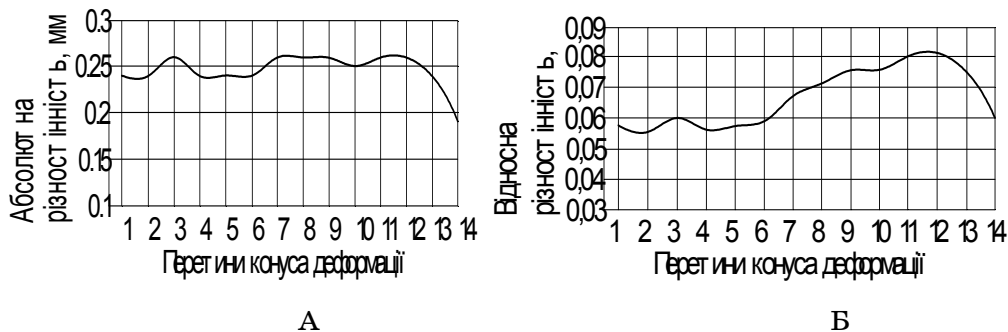


Рисунок 2

Графіки зміни величини різностінності труб по довжині робочого конуса стану ХПТР 60-120 в результаті прокатки труб з

невеликою різностінністю (119,1х4,1-114,3х3,05): А – зміна абсолютної різностінності; Б - зміна відносної різностінності

Ціль досліджень

Поставлено задачу провести експеримент по дослідженню зміни поперечної різностінності підчас прокатки тонкостінних труб на стані ХПТР.

Опис матеріалу дослідження

Для експерименту вибрано трубу 25,4х2,65 зі сплаву. Дванадцять таких труб було прокатано на стані ХПТР 15-30 з холоднокатаної заготовки розміром 28х3,2. Подача та поворот проводились за класичною схемою – подача та поворот перед прямим ходом кліті. Параметри точності труб по товщині стінки було заміряно до та після прокатки ультразвуковим товщиноміром, результати замірів оброблено та зведено в таблицю 4.

Розбіг величин різностінності відносно середнього значення (дисперсія та середньоквадратичне відхилення) теж інтенсивніше зменшилися при подачі 3 міліметри (табл. 4).

Під час прокатки відібрано 4 конуси деформації: 2 при прокатці з подачею 3 міліметри, 2 при прокатці з подачею 1,3 міліметри. Всі конуса порізано на 27 рівних частин, параметри геометрії яких заміряно мікрометром підвищеної точності в 9-ти точках поперечного перетину. Для підвищення точності експерименту перед розміткою знаходились мінімальні та максимальні параметри товщини стінки та діаметра в цьому перетині.

Таблиця 4

Зміна показників розкиду величин товщини стінки вздовж конусів деформації, відібраних при прокатці труб на стані ХПТР 15-30 з подачами 1,3 та 3 міліметри (маршрут 28х3,2 - 25,4х2,65)

№ конуса	Подача, мм	Дисперсія			Середньоквад. відхилення		
		початкова	кінцева	різниця	початкове	кінцеве	різниця
1	3	0,062	0,018	0,044	0,498	0,132	0,366
2	3	0,055	0,026	0,029	0,438	0,205	0,233
3	1,3	0,03	0,015	0,015	0,243	0,018	0,225
4	1,3	0,0563	0,0296	0,0267	0,4504	0,2366	0,2138

Графіки зміни абсолютної різностінності вздовж конусів деформації стану ХПТР 15-30, при прокатці труб зі сплаву по маршруту 28x3,2 - 25,4x2,65 з подачами 1,3 і 3 мм. показані на рисунку 3.

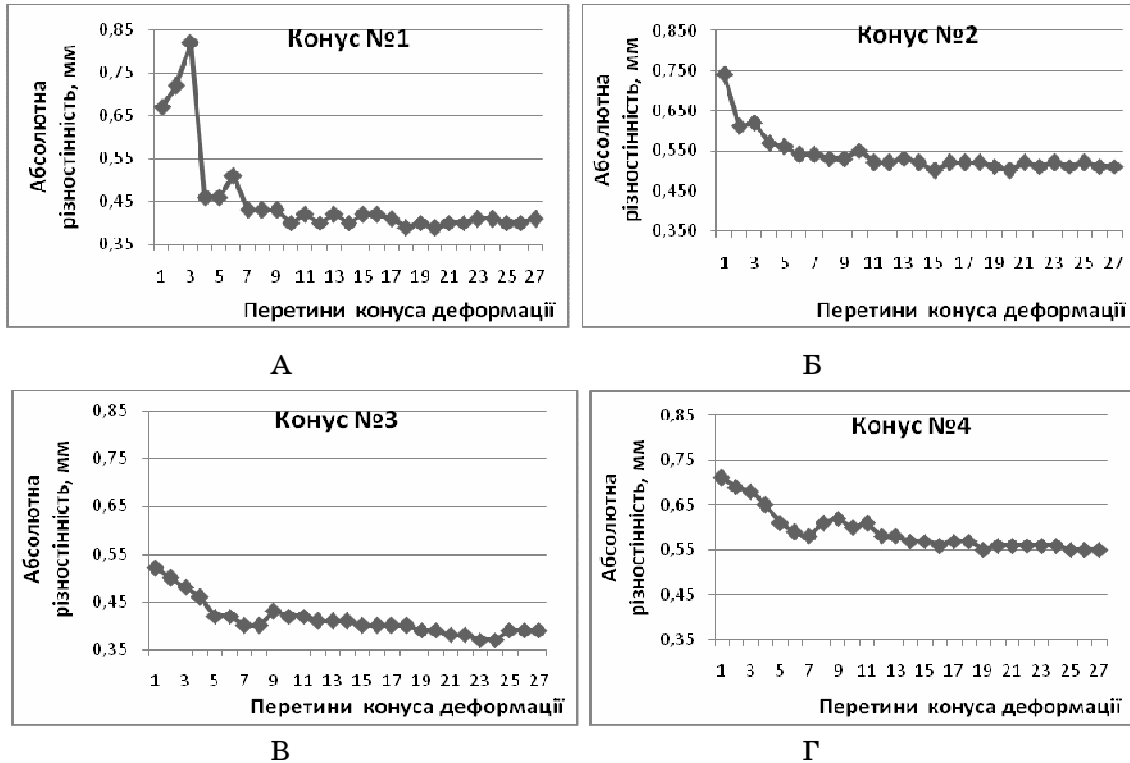


Рисунок 3

Графіки зміни абсолютної різностінності вздовж конуса деформації стану ХПТР 15-30, при прокатці труб зі сплаву по маршруту 28x3,2 - 25,4x2,65 (подача та поворот проводились за класичною схемою): А і Б - прокатка з подачею 3 міліметри; В і Г - прокатка з подачею 1,3 міліметри.

З графіків видно, що абсолютна різностінність падає як при прокатці з подачею 3 так і з подачею 1,3 міліметри. Цікаво, що падіння величин абсолютної різностінності вище при подачі 3 міліметри ніж при подачі 1,3 міліметри.

Зміну відносної різностінності вздовж конусів деформації стану ХПТР 15-30, які було відібрано при прокатці труб зі сплаву по маршруту 28x3,2 - 25,4x2,65 з подачами 1,3 і 3 мм. показано на графіках рисунка 4.

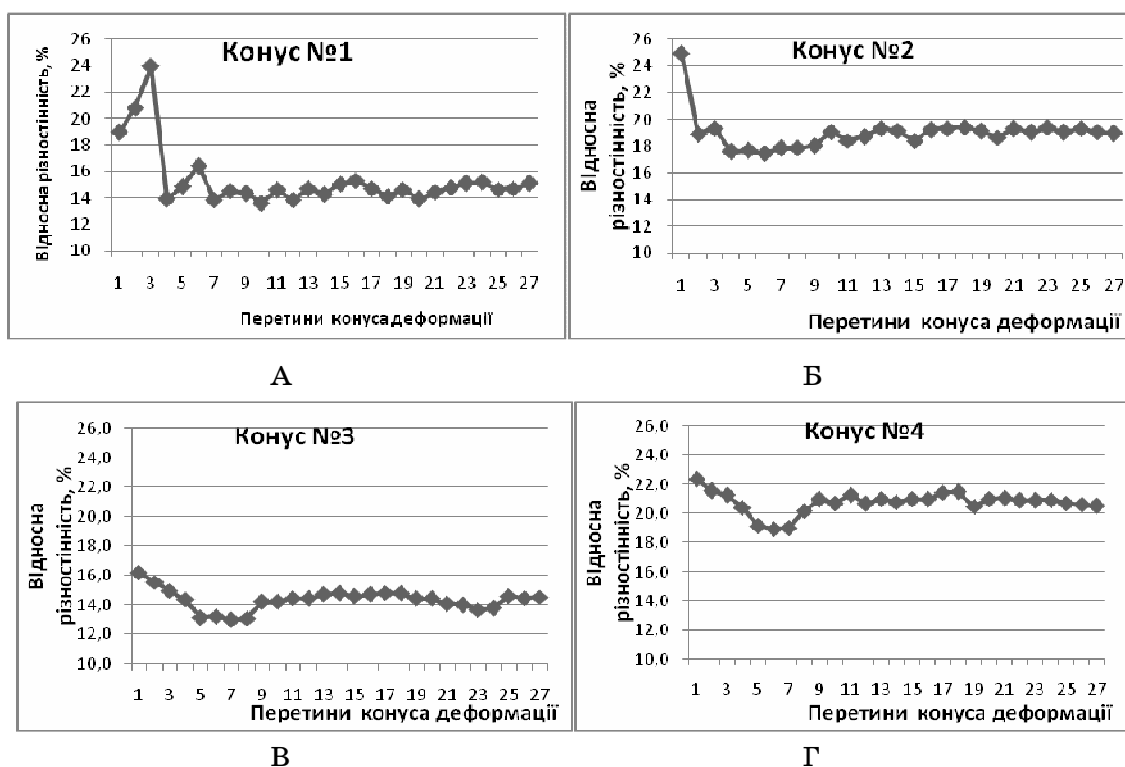


Рисунок 4

Графіки зміни відносної різностінності вздовж конуса деформації стану ХПТР 15-30, при прокатці труб зі сплаву по маршруту 28x3,2 - 25,4x2,65 (подача та поворот проводились за класичною схемою): А і Б - прокатка з подачею 3 міліметри; В і Г - прокатка з подачею 1,3 міліметри

З графіків рисунку 4 видно, що на відміну від абсолютної різностінності, відносна впала не так стрімко. Ступінь падіння відносної різностінності при подачі 3 міліметри більша ніж при подачі 1,3 міліметри. Найбільше відносна різностінність (як і абсолютна, див. рис. 4) падає в зоні редукування, далі вона майже не змінюється, чи зростає незначно (особливо при подачі 1,3 мм.).

Данні експерименту було зведено в таблицю 5, на рисунку 7 показано графіки зміни товщини стінки вздовж однієї з труб цієї партії.

Таблиця 5

Поперечна різностінність труб, прокатаних на стані ХПТР 15-30
(подача та поворот проводились за класичною схемою, маршрут
28х3,2 - 25,4х2,65, подача 2,1 мм.)

Номер труби	Заготовка				Труба			
	Товщина стілки, мм		Різностінність		Товщина стілки, мм		Різностінність	
	мин	макс	абс., мм	відн., %	мин	макс	абс., мм	відн., %
1	2,91	3,46	0,55	17,27	2,54	2,92	0,38	13,92
2	2,93	3,45	0,52	16,30	2,53	2,92	0,39	14,31
3	2,94	3,6	0,66	20,18	2,48	2,98	0,5	18,32
4	2,88	3,49	0,61	19,15	2,48	2,94	0,46	16,97
5	2,9	3,46	0,56	17,61	2,5	2,91	0,41	15,16
6	2,97	3,74	0,77	22,95	2,43	3	0,57	20,99
7	2,89	3,45	0,56	17,67	2,52	2,94	0,42	15,38
8	2,53	2,98	0,45	16,33	2,51	2,94	0,43	15,78
9	3	3,6	0,6	18,18	2,5	2,98	0,48	17,52
10	2,86	3,47	0,61	19,27	2,5	2,95	0,45	16,51
11	2,79	3,56	0,77	24,25	2,48	3	0,52	18,98
12	2,87	3,46	0,59	18,64	2,48	2,93	0,45	16,64
Середньо	3,18		0,6	18,98	2,72		0,46	16,71

Видно, що відносна різностінність труб зменшилась за рахунок максимально великих значень різностінності. Кількість труб з середньою та малою для заготовки різностінністю практично не змінилась. Дисперсія значень відносної різностінності партії труб зменшилась з 5,55 до 3,79, середньоквадратичне відхилення з 2,36 до 1,95. В цілому різностінність зменшилась але незначно (середнє значення зменшилось з 18,99 до 16,71).

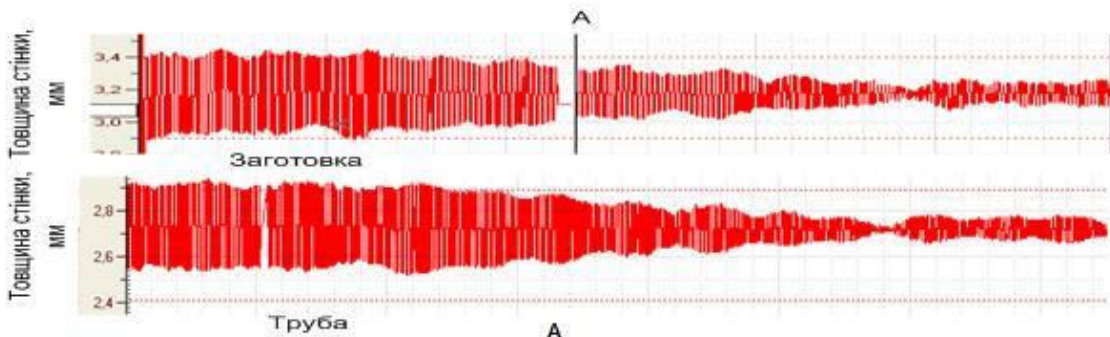


Рисунок 5

Графік зміни товщини стінки труби під час прокатки на стані ХПТР 15-30, (маршрут 28х3,2 - 25,4х2,65, сплав).

Результатом обробки даних різностінності вказаної партії труб являється полігон зміни абсолютних частот відносної різностінності труб (рис. 8).

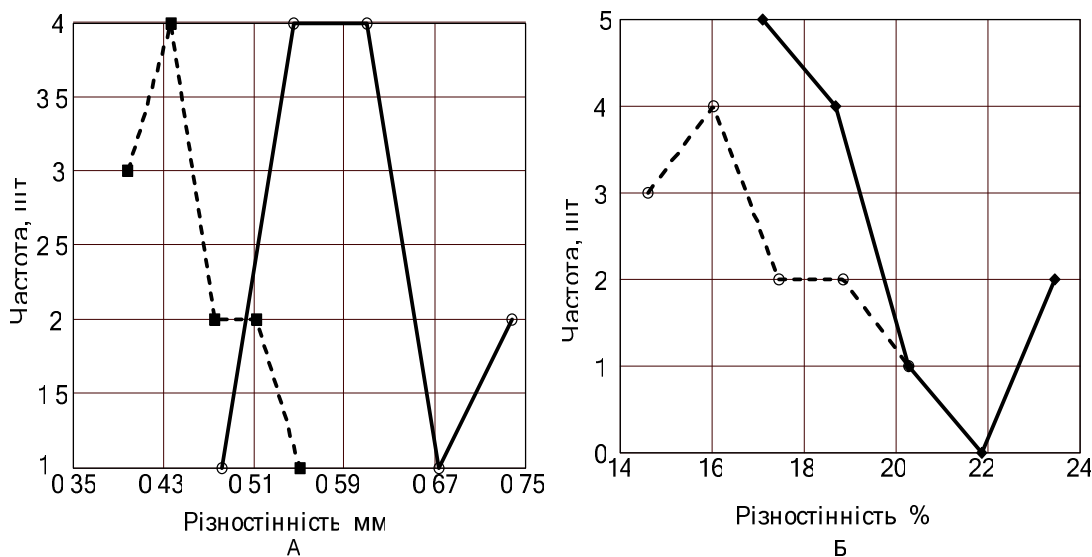


Рисунок 6

Полігони зміни частот абсолютної та відносної різностінності товстоситінних труб під час прокатки на стані ХПТР 15-30, (маршрут 28х3,2 - 25,4х2,65, титановий сплав): А – абсолютна різностінність; Б - відносна різностінність; суцільна лінія – заготовка; штрих - готова труба

Полігони показують, що абсолютна та відносна різностінність змінилась. Відносна різностінність труб зменшилась за рахунок максимальних великих значень різностінності. Кількість труб з середньою та малою для заготовки різностінністю практично не змінилась. Дисперсія значень відносної різностінності партії труб зменшилась з 5,55 до 3,79, середньоквадратичне відхилення з 2,36 до 1,95. В цілому можна зазначити, що різностінність зменшилась, але незначно.

Висновки

Всі досліджені в статті випадки прокатки труб відношенням діаметра до товщини стінки $25.4/2.65=9.58$ з великою початковою різностінністю 16-25% показали інтенсивне зменшення абсолютної та відносної різностінності в першій третині конуса деформації, далі різностінність або практично не змінювалась, або навіть підвищувалась.

Основне зменшення початкової поперечної різностінності відбувається на початку робочого конуса у зоні редукування. В зоні обтиску стінки та зоні калібрування зміни поперечної різностінності не значні.

Зміна різностінності тонкостінних труби вздовж конуса деформації стану ХПТР більш інтенсивніша при більшій величині подачі (подача 3 по зрівнянню з 1,3.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Вердеревский В.А. Роликовые станы холодной прокатки труб / Врдеревский В.А., - М.: Металлургия, 1992. - 239 с.
2. Развитие теории и практики производства прецизионных стальных труб / Кузнецов Е.Д.// Развитие теории процессов производства труб: Сб. науч. тр. под редакцией В.Н. Данченко – Днепропетровск: Системные технологии, 2005 – С. 233-259
3. Столетний М.Ф. Точность труб / М.Ф. Столетний, Е.Д. Клемперт – М.: Металлургия 1975 - 239 с.
4. Григоренко В.У. Экспериментальные исследования изменения разностенности труб по длине рабочего конуса при прокатке на стане ХПТР / / В.У. Григоренко, К.В. Щербань // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Пластична деформація металів. Теорія і технологія виробництва труб. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. – Т. 11.- С. 270-273.

Получено 15.09.2010г.

УДК 621.39

В.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕДУРИ ХЕНДОВЕРА НА ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Анотація. Проаналізовано можливості найбільш актуального для оптимізації алгоритму м'якого хендвера з відносними порогоми. Досліджено вплив інтерференції на функціонування мережі мобільного зв'язку в цілому.

Ключові слова: хендвер, мобільний зв'язок, базова станція, мережа, канал.

Постановка проблеми

За кілька останніх років одним з найголовніших успіхів в галузі телекомунікацій було широке розповсюдження стільникової мобільної телефонії та супутникових телекомунікаційних систем. Для забезпечення стільникового зв'язку поверхня району, що обслуговується, розбивається на комірки (стільники) залежно від областей покриття антен базових станцій (БС) або супутників. Кожна така окрема область покриття має свою частоту, на якій ведеться передавання сигналів. Таким чином, при переміщенні мобільного термінала (людина, автомобіль, поїзд, корабель, літак тощо) з однієї області впливу в іншу виникає необхідність у виконанні процедури хендвера, тобто в перемиканні встановленого з'єднання. Основне призначення хендвера — забезпечення рухливості абонентів у мобільних мережах під час обслуговування виклику та підтримка гарної якості зв'язку при переміщенні.

Існує безліч процедур, що відбивають якість функціонування мобільних мереж, але однією з основних є саме процедура хендвера. Її успішність і ефективність впливають не тільки на формування оцінки якості сервісів споживачем, але й на працездатність мережі в цілому [1].

Аналіз останніх досліджень

Розрізняють кілька видів хендверів:

Усередині однієї БС, усередині сектору між стільниками – у цьому випадку в процедурі хендвера задіяні декілька

прийомопередатчиків однієї БС. Такий тип хендовера відбувається або через вихід з ладу одного із прийомопередатчиків або через перевантаження. У стандартах 3G і 4G це тип хендовера одержав назву *softer*.

Усередині однієї БС між секторами. Задіяні ресурси тільки однієї БС і в мережах 3G /4G він також зветься *softer*.

Усередині одного BSC (Base Station Controller – контролер базових станцій) між БС – у цьому випадку будуть задіяні ресурси вже декількох мережних елементів: BSC і двох БС. У мережах 3G і 4G цей тип хендовера називається *softer*, тобто якийсь час може існувати два з'єднання між UE і RNC через різні NodeB. Такий тип хендовера гарантує гарну якість з'єднання.

Між BSC усередині одного MSC (Mobile Switching Center – комутатор мобільних мереж зв'язку 1G і 2G) – у цьому випадку БС, між якими відбувається хендовер підключені до різних BSC. У такому хендовері вже задіюються ресурси комутатора й саме MSC управляє таким типом хендовера.

Між MSC – коли БС підключені до різних MSC. У цьому випадку задіюється максимально можливий набір ресурсів у рамках мережі одного стандарту.

Між RAN – це так званий міжсистемний хендовер. Він виконується між базовими станціями, що відносяться до різних стандартів стільникового зв'язку (NMT, GSM, UMTS, LTE, WIMAX). Для цього в кожному новому розроблювальному стандарті передбачається можливість обміну сигналізацією між елементами мереж різних стандартів для такого типу хендовера. Спочатку руйнується старе з'єднання, а потім установлюється нове через непомітний абонентові проміжок часу.

Не залежно від типу до хендоверу пред'являється головне правило — він повинен бути непомітний абонентові та не впливати на якість з'єднання. В даній роботі розглядається найбільш актуальний алгоритм м'якого хендовера з відносними порогами. У більшості проведених раніше досліджень процес м'якого хендовера спрощений. Приміром, у деяких дослідженнях хендовер заснований на визначенні дистанції, тобто рішення про хендовер ухвалюється на основі аналізу віддалення мобільної станції (МС) від базової (БС). В інших — інтерференція, створювана абонентом при м'якому

хендовері, апроксимується як подвоєння інтерференції від абонента поза процесом м'якого хендовера [1-4].

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ціль роботи полягає у розробці оптимізованого алгоритму хендовера, що забезпечує підвищення ефективності функціонування та збільшення ємності мережі мобільного зв'язку з підтримкою необхідної якості обслуговування.

Основна частина

З позицій рухомої станції відмінності між напівм'яким і м'яким хендоверами досить незначні. При м'якому хендовері рухома станція перебуває в зоні охопту комірки, що перекриває два сектори, що належать різним базовим станціям. При напівм'якому хендовері МС перебуває в зоні охопту комірки, що перекриває два сусідні сектори базової станції. Зв'язок між рухомою та базовою станціями підтримується постійно по двом каналам повітряного інтерфейсу: по одному для кожного сектору. Це вимагає використання двох окремих кодів у напрямку спадного каналу для того, щоб рухома станція могла розрізняти сигнали. Ці два сигнали приймаються МС з використанням обробки приймачем Rake, дуже близькою до обробки, прийнятою для приймання багатопроменевих сигналів, за винятком того, що тракти повинні генерувати відповідні коди для кожного сектору для того, щоб можна було зробити необхідну операцію стиснення. У напрямку висхідного каналу на базовій станції відбувається подібного ж роду процес: канал з кодом рухомої станції приймається в кожному секторі, потім направляється до того ж приймача групового сигналу Rake, де звичайним образом проводиться підсумовування по максимальному відношенню. Однак у висхідному напрямку м'який хендовер значно відрізняється від напівм'якого хендовера: канал з кодом рухомої станції приймається від обох БС, але потім прийняті дані направляються до RNC радіомережі для підсумовування. Це робиться з метою, щоб той самий показник надійності фрейму, який забезпечувався для керування потужністю по зовнішньому контуру, використовувався б і для вибору кращого з можливих двох фреймів в RNC. Вибір проводиться кожні 10-80 мс. Напівм'який хендовер при з'єднаннях звичайно відбувається приблизно в 5-15% випадків. М'який хендовер проводиться для 20-

40% з'єднань. Відначимо також, що м'який і напівм'який хендовери можуть мати місце в комбінації один з одним.

Відзначимо, що розрізняють два типи хендовера: 1) керований базовою станцією (МАНО — Mobile Assisted Handover), при якому мобільна станція виконує вимір інтенсивності сигналу та передає ці дані на БС; 2) керований мобільною станцією (МСНО — Mobile Controlled Handover), при якому рівень сигналів від різних базових станцій приймається мобільною станцією. Вона ж ухвалює рішення, де і який хендовер їй необхідний.

Розглянемо метод МАНО. Мобільна станція виконує вимір інтенсивності сигналів по пілотних каналах (Pilot Channel — PICH), одержуваних від сусідніх базових станцій, і розсилає повідомлення, що містять дані про ті PICH, які перетнули деякі граничні значення. Нас цікавлять у цьому випадку два граничні значення:

PICH, які мають достатню інтенсивність сигналу для використання в системі передачі сигналів;

PICH, які мають низьку інтенсивність сигналу та не можуть бути використані для передачі сигналів.

Ці граничні значення становлять гістерезисну петлю, яка забезпечує стійкість процесу. Це означає, що канали порога оцінки низької інтенсивності рівня трохи вище порога високої інтенсивності. Ґрунтуючись на отриманій інформації, мобільна станція може додавати або видаляти PICH в активному наборі.

Як правило, м'який хендовер поліпшує характеристики системи, але може в деяких ситуаціях негативно впливати на пропускну здатність системи та мережні ресурси. Для прямих ліній зв'язку при надмірно частому хендовері зменшується кількість вільних ліній і при цьому витрачається більше мережних ресурсів. Коректування параметрів хендовера на базових станціях не обов'язково вирішує проблему. Деякі області в стільнику одержують тільки слабкі пілот-сигнали (потребуючі більш низьких порогів хендовера), а інші області одержують декілька сильних і домінуючих пілот-сигналів (потребуючих більш високих порогів передачі виклику). Для того щоб додавати в активний набір вільні пілот-сигнали, використовуються наступні принципи:

Мобільна станція виявляє прямий пілот-сигнал, який перетинає даний статичний поріг T_1 . У цьому випадку поріг вимірюється потужністю чипа (E_b/N_0) .

При перетинанні статистичного порога T_1 пілот-сигнал переводиться в список кандидатів і починається більш часта перевірка пілот-сигналів на досягнення величини, що наближається до величини T_2 .

Порівняння з величиною порога T_2 дозволяє визначити, чи достатня величина другого сигналу, щоб його приєднати до активного набору.

Умовою вибору нового каналу є нерівність:

$$10 \log P_{cj} \geq \max \left[k_1 10 \log \left(\sum_{L=1}^{N_a} P_{ai} + \Delta P_{T_1} \right) \right], \quad (1)$$

де P_{cj} — напруженість РСН обраного сигналу; P_{aj} — напруженість i -го РСН в активному наборі; N_a — число РСН в активному наборі, а k_1 і ΔP_{T_1} — системні параметри, що задаються та регулюють дані для конкретної системи.

На рис. 1 подано часову діаграму м'якої передачі виклику із застосуванням динамічних порогів і пов'язаних із цим подій, коли мобільна станція залишає обслуговуючу базову станцію (РСН 1) до нової базової станції (РСН 2). Комбінація статичних і динамічних порогів (у порівнянні з тільки статичними порогамі) дозволяє в результаті зменшити час і використання ресурсу при м'якій передачі виклику. Розглянемо детально рис. 1.

Коли пілот-сигнал 2 досягає порога T_1 , мобільна станція переміщає його в набір кандидатів.

Коли пілот-сигнал 2 перевищує поріг T_2 (динамічний), мобільна станція сповіщає про це мережу.

Мобільна станція одержує команду додати пілот-сигнал 2 до активного набору.

Пілот-сигнал 1 падає нижче порога T_3 (відносно пілот-сигналу 2).

Таймер хендовера для пілот-сигналу 1 минає. Мобільна станція повідомляє мережі про його напруженість.

Мобільна станція одержує команду вилучити пілот-сигнал 1.
Таймер хендовера минає після того, як пілот-сигнал 1 виявився нижче порога T_4 .

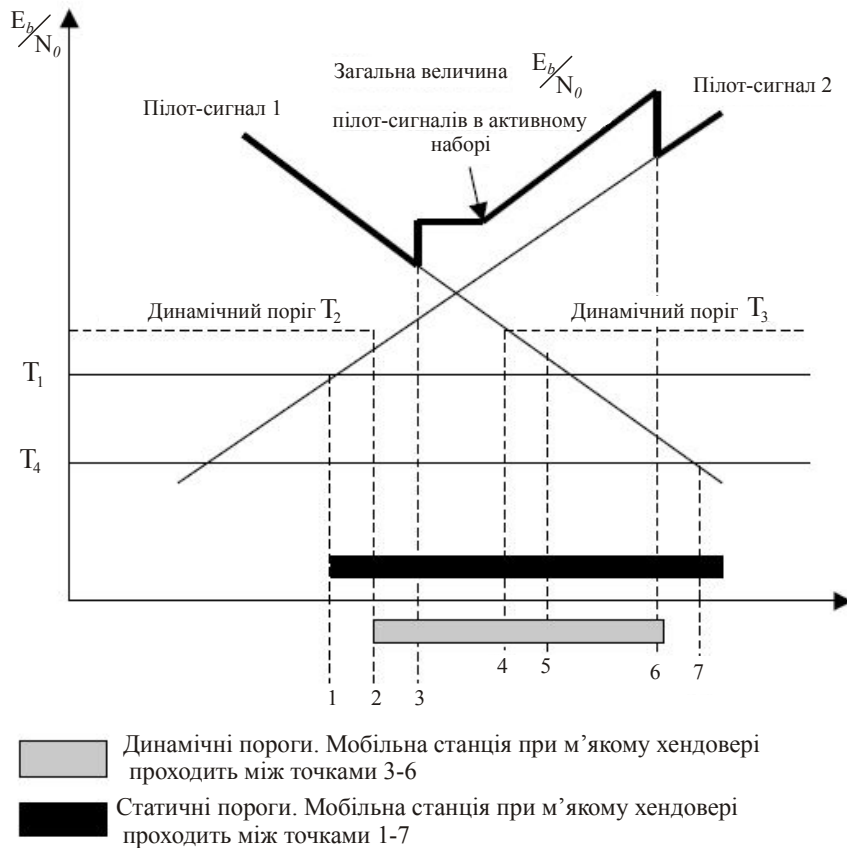


Рисунок 1 - Процедура хендовера при використанні динамічних порогів

Для операторів стільникового зв'язку, які планують розвиток і подальшу оптимізацію універсальних мультисервісних мереж, (зокрема, заснованих на технології WCDMA) з метою підвищення обсягу і якості надаваних послуг, зокрема й мобільного Інтернету, завдання оптимізації параметрів, що впливають безпосереднім образом на функціонування мережі в цілому, є актуальним і насущним завданням. Оптимізувати алгоритм хендовера можна, опираючись на різні параметри; у даній роботі пропонується обрати за основу мінімізацію інтерференційного впливу та проаналізувати яким образом це відіб'ється на функціонуванні мережі мобільного зв'язку в цілому. Для цього необхідно провести аналіз характеристик каналного рівня мережі WCDMA, приділяючи особливу увагу оцінці

впливу м'якого хендовера на інтерференцію й призначення потужностей для виділених каналів в DL.

Припускаючи, що навантаження розподілене рівномірно усередині системи, тобто всі БС передають із однаковими рівнями потужності, співвідношення для потужності P_s виділеного спадного каналу при граничних співвідношеннях, тобто не враховуючи тепловий шум, може бути записане у вигляді:

$$P_s = \frac{\nu R}{W} \left(\frac{E_b}{I_0} \right)_t \left[1 - a + \sum_{i=2}^{19} \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10} \right] \cdot P_T = \beta_1 \cdot P_T, \quad (2)$$

де W – чипова швидкість; R – швидкість передачі службових бітів; ν – коефіцієнт активності для даного типу послуги; $(E_b/I_0)_t$ – опорне значення відношення енергії біта до спектральної щільності потужності шуму (E_b/I_0) , що встановлюється контролером RNC у відповідності зі значеннями помилок BER; β_1 – коефіцієнт, що показує відносний рівень необхідної потужності для UE без м'якого хендовера.

При м'якому хендовері у двох і трьох напрямках загальна потужність, необхідна для підтримки UE, визначається формулами:

$$P_{S1} + P_{S2} = \frac{2 \frac{\nu R}{W} \left(\frac{E_b}{I_0} \right)_t}{\frac{1}{1 - a + \sum_{i=2}^{19} \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10}} + \frac{1}{1 - a + \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq 2)}}^{19} \left(\frac{r_j}{r_2} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_j - \zeta_2)/10}}} \cdot P_T = \beta_2 \cdot P_T. \quad (3)$$

$$\begin{aligned} P_{S1} + P_{S2} + P_{S3} &= \beta_3 \cdot P_T = \\ &= \frac{3 \frac{\nu R}{W} \left(\frac{E_b}{I_0} \right)_t}{\frac{1}{1 - a + \sum_{i=2}^{19} \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10}} + \frac{1}{1 - a + \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq 2)}}^{19} \left(\frac{r_j}{r_2} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_j - \zeta_2)/10}} + \frac{1}{1 - a + \sum_{\substack{k=1 \\ (k \neq 3)}}^{19} \left(\frac{r_k}{r_3} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_k - \zeta_3)/10}}} \cdot P_T. \end{aligned} \quad (4)$$

Тут β_2 і β_3 показують відносний рівень загальної необхідної потужності для UE при м'якому хендовері у двох і трьох напрямках відповідно. Потужність, призначена для певного користувача, є інтерференцією для інших користувачів. Отже, β_1 , β_2 , β_3 також відбивають інтерференцію, зведену на UE.

Результати дослідження залежності значень коефіцієнтів β_1 , β_2 , β_3 від радіопараметрів і місця розташування абонентів показали:

1. При відсутності затінення для підтримки опорного значення E_b/I_0 при м'якому хендовері в трьох напрямках потрібно більше потужності, ніж при м'якому хендовері у двох напрямках.

2. Для UE, що перебувають близько границь стільника, при м'якому хендовері в середньому необхідно менше енергії для підтримки опорного відношення E_b/I_0 .

3. Для абонентів, що перебувають у кутах стільника, при м'якому хендовері в трьох напрямках виділяється менше енергії, ніж при хендовері у двох напрямках.

4. Для UE, що перебувають на лінії, що з'єднує базові станції, хендовер у двох напрямках завжди має кращі показники, чим тринапрямний.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Без застосування м'якого хендовера для збереження E_b/I_0 не нижче опорного значення, середня випромінювана потужність в DL для трафікового каналу, необхідна абонентові, який перебуває близько границі стільника, перевищує максимально припустиму для трафікових каналів потужність. У цьому випадку абонентові може бути відмовлено, або обслуговування продовжиться з якістю нижче опорної. М'який хендовер вирішує цю проблему поділом потужності між станціями. Крім того, м'який хендовер зменшує ймовірність погіршення якості обслуговування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волков А.Н. Оптимизация UTRA алгоритма мягкого хэндовера. – Ч.1 / А.Н. Волков, С.М. Аксенов, Е.С. Зорин // Электросвязь. – 2007. – № 10. – С.21–23.
2. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук // М.: Эко-Трендз. – 2010. – 281 с.
3. Holma H. WCDMA for UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications / H. Holma, A. Toskala // Third Edition. John Wiley & Sons Ltd. – 2004.
4. Аксенов С.М. Оптимизация UTRA алгоритма мягкого хэндовера. – Ч.2 / С.М. Аксенов, А.Н. Волков, Е.С. Зорин // Электросвязь. – 2007. – №11. – С.46–51.

Получено 21.09.2010р.

УДК 620.179

А.И. Федорович

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИКИ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ МАТРИЦ ГАНКЕЛЯ

Аннотация. Исследованы статистические закономерности собственных чисел ганкелевых матриц, сформированных из выборок случайных величин, их чувствительность к изменениям сдвига, масштаба, закона распределения вероятности исходной выборки, содержащей информацию о техническом состоянии объектов контроля. Ключевые слова: ганкелева матрица, собственные числа, выборка измерений, мощность.

Постановка задачи

В задачах неразрушающего контроля линейно-протяженных объектов со случайными параметрами информация об их состоянии содержится в выборках измерений, искаженных помехами разного вида. Одним из способов уменьшения влияния помех на результаты контроля является формирование матриц Ганкеля и их сингулярно-спектральный анализ [1]. В реальных условиях контроля выборки измерений представляют собой последовательности случайных величин с неизвестными статистическими закономерностями. В задачах сингулярно-спектрального анализа собственные числа матриц занимают особое место и зависят от статистически закономерностей исходных выборок случайных величин, их параметров, законов распределения вероятностей, корреляционных связей. Собственные числа являются случайными величинами. Цель исследования – изучить статистику собственных чисел, законы распределения и зависимости их от параметров и законов распределения исходных выборок измерений.

Сингулярно-спектральный анализ ганкелевых матриц используется для уменьшения влияния помех путем отбора собственных чисел и формирования сглаженных выборок измерений. Статистические закономерности собственных чисел неизвестны и аналитическими методами их трудно исследовать. Эта задача может

быть решена путем проведения вычислительных экспериментов на основе моделей выборок с различными законами распределения.

Компьютерная модель и методика вычислительных экспериментов

Разработанная для проведения исследований компьютерная модель состоит из четырех блоков: 1) блок из четырех генераторов для формирования выборок случайных величин $x(k)$ с законами распределения вероятностей – Гаусса (независимых и коррелированных) и Лапласа, экспоненциального и релеевского (независимых случайных величин); 2) блок формирования матриц Ганкеля; 3) блок вычисления собственных чисел матрицы λ_i ; 4) блок статистического анализа собственных чисел как случайных величин и оценки их параметров.

Для сравнения результатов статистического анализа собственных чисел матриц Ганкеля с различными законами распределения вероятностей выборок случайных величин, в качестве изменяемого параметра выбрана их мощность (математическое ожидание квадрата случайных величин). Для используемых законов распределения мощность запишется в виде

$P = M^2[x] + D[x] = M^2[x] \left(1 + \frac{D[x]}{M^2[x]} \right)$. Так как для релеевских и экспоненциальных случайных величин $P = 2\mu^2$ и $P = 2b^2$, где μ и b параметры этих законов и $\frac{P[x]}{M^2[x]} = 1$, то для нормальных и лапласовских случайных величин выберем это отношение равным 1, и тогда $P = 2a^2$. Коррелированные нормальные случайные величины описываются моделью Маркова

$$S(k) = rS(k-1) + \sigma^2 \sqrt{1-r^2} \xi(k) \quad (2)$$

где r - коэффициент корреляции; $\xi(k)$ - нормальные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией.

Из последовательности $x(1), x(2), \dots, x(N)$ формируется матрица

Ганкеля (с длиной окна L) $|X| = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_{K-1} \\ x_2 & x_3 & \dots & x_K \\ x_3 & x_4 & \dots & x_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_L & x_{L+1} & \dots & x_{N-1} \end{pmatrix}$. Величины

L, N и K , связаны между собой следующим соотношением $K = N - L + 1$. Запишем уравнение для оценки собственных чисел

$$\det(|X||X|^T - \lambda|I|) = 0. \quad (3)$$

Решая уравнения (3), получим корни λ_i - собственные числа матрицы $|S| = |X||X|^T$. Установлено, что собственные числа ганкелевых матриц образуют неубывающий ряд $\lambda_1 \geq \dots \lambda_L \geq 0$, где L - длина окна. Для проведения вычислительных экспериментов выбрано $L=5$.

Анализ результатов вычислительных экспериментов

Для статистического анализа собственных чисел как случайных величин были проведены вычислительные эксперименты по 10000 реализаций для каждого исследуемого случая. При обработки полученных результатов выполняется нормировка собственных чисел исследуемой матрицы $\frac{\lambda_i}{N}$, где $N (N=25)$ - длина исходной выборки случайных величин.

Поскольку собственные числа ганкелевой матрицы являются случайными величинами с неизвестными законами распределения вероятностей и неизвестными параметрами, то по результатам вычислительных экспериментов построены их гистограммы. Гистограмма максимального собственного числа приведена на рис. 1. По критерию хи-квадрат проведена оценка вида закона распределения вероятности. Гистограмма рис.1 описывается гамма-распределением с параметрами $\alpha = 5$, $\beta = 1,6$ (исходная выборка нормальные случайные величины с $a = 0$, $\sigma = 1$).

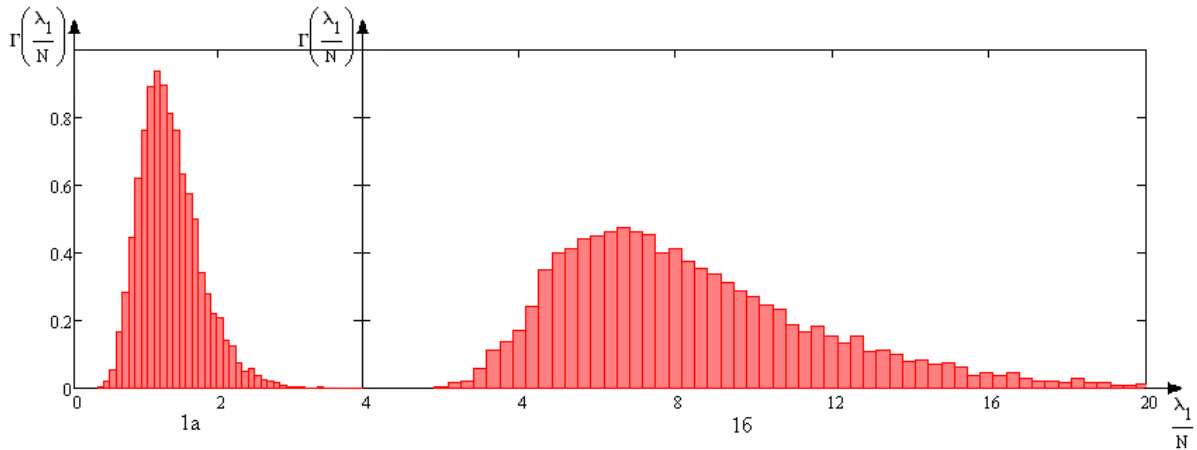


Рисунок 1 - Гистограмма максимального собственного числа ганкелевой матрицы

Закон распределения вероятности собственных чисел остается неизменным для различных исходных выборок, изменяются только его параметры. На рис. 16 представлена гистограмма λ_1/N для нормальных случайных величин с $a = 1$, $\sigma = 2$. В результате вычислительных экспериментов установлено, что параметры гамма-распределения собственных чисел связаны с параметрами исходной выборки следующими закономерностями: $\alpha^* = 1,5P - 1$ и $\beta^* = 0,02P$ (P -мощность) для симметричных законов распределения и $\alpha^* = 5,5P - 2$ и $\beta^* = 0,015P$ - для асимметричных законов.

При любых исходных данных первое (максимальное) собственное число значительно превышает остальные. В таблице 1 приведены значения собственных чисел для различных законов распределения вероятностей при одинаковой мощности $P = 2$.

Таблица 1

	Нормальный ЗРВ	Лапласа ЗРВ	Экспоненциальный ЗРВ	Релея ЗРВ
$\bar{\lambda}_1$	138,63	179,243	207,55	151,495
$\bar{\lambda}_2$	30,761	69,32	15,557	35,458
$\bar{\lambda}_3$	23,716	55,682	12,086	28,247
$\bar{\lambda}_4$	18,393	40,573	8,719	20, 571
$\bar{\lambda}_5$	13,618	30,889	6,62	15,833

Рассмотрим только максимальное собственное число λ_1 . На рис. 2 представлены кривые λ_1 для различных законов распределения вероятностей при изменении мощности.

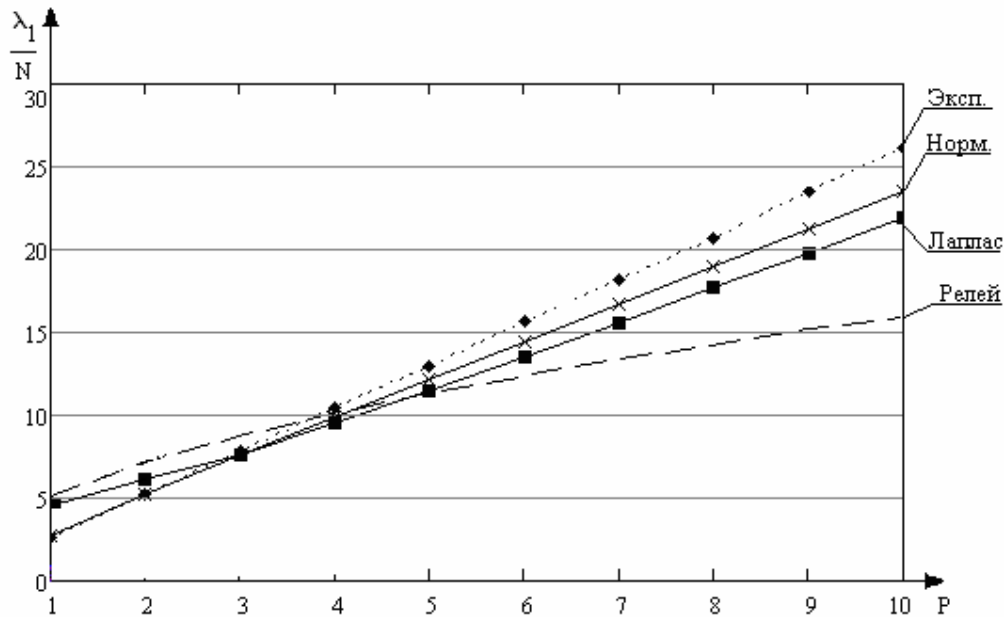


Рисунок 2 – Кривые нормированных λ_1 для различных законов распределения вероятностей

Из рис.2 видно, что характер кривой изменения собственного числа почти не зависит от вида закона распределения вероятности исходной выборки случайных величин. При изменении мощности в 10 раз значение λ_1 для нормальных случайных величин изменилось в 6 раз (от 4 до 24); для лапласовских случайных величин – в 4 раза (от 5 до 21); для экспоненциальных – в 6 раз (от 4 до 26); для релеевских случайных величин – в 3 раза (от 5 до 16).

В случае, когда исходная выборка представляет собой коррелированные случайные величины (марковская последовательность), изменение величины коэффициента корреляции приводит к увеличению λ_1 , а остальные собственные числа уменьшаются, если значения коэффициента корреляции превышает 0.5 (рис.3.).

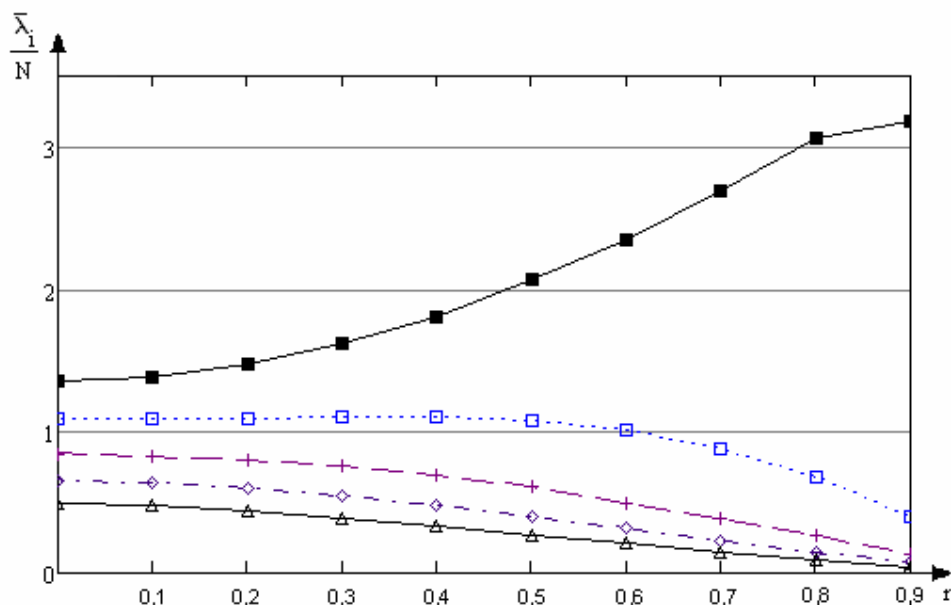


Рисунок 3 – Характер изменения собственных чисел при увеличении коэффициента корреляции

Для нормированных значений собственных чисел (полученных по выборке нормальных случайных величин с параметрами $a=0$, $\sigma=1$) при увеличении коэффициента корреляции от 0 до 0,9 максимальное собственное число увеличивается в 1,5 раза, тогда как при изменении мощности – в 6 раз. Что говорит о более высокой чувствительности собственных чисел ганкелевой матрицы к изменениям сдвига и масштаба исходной выборки измерений, чем к корреляции этих величин.

Выводы

1. Собственные числа ганкелевой матрицы, сформированной по выборке случайных величин, являются случайными числами, и образуют неубывающий ряд, в котором первое собственное число значительно превышает остальные.

2. Моделью статистических закономерностей собственных чисел может служить закон гамма распределение с параметрами $\alpha^* = 1,5P - 1$ и $\beta^* = 0,02P$ для симметричных законов распределения и $\alpha^* = 5,5P - 2$ и $\beta^* = 0,015P$ - для асимметричных законов.

3. Изменение закона распределения вероятности или его параметров исходной выборки оказывает влияние только на

максимальное значение собственного числа. Остальные собственные числа практически не изменяются.

4. Изменения сдвига и масштаба исходных выборок случайных величин приводят к изменению максимального собственного числа матриц Ганкеля в 4-6 раз (зависимо от вида закона распределения вероятностей исходной выборки). Увеличение коэффициента корреляции – в 2 раз, что значительно меньше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голядина Н.Э. Метод «Гусеница» - SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. - СПб., 2004. – 76с.
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика/ А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2006. – 816 с.

Получено 30.09.2010г.

УДК 622.785

Д.А. Ковалёв, Н.Д. Ванюкова, А.Ю. Худяков, М.Н. Бойко

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СУШКИ ОКАТЫШЕЙ НА
ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА**

Анотація. З використанням методу математичного моделювання, було проведено дослідження впливу основних параметрів високотемпературного режиму сушки обкатишів на зміну температури і вологості в шарі, а також зміст FeO в обкатишах, по висоті шару (на відстанях 60,120,180 мм від колосникової решітки). Отримано поліноміальні моделі, які описують вказані залежності, проведено їх комплексний аналіз.

Состояние и актуальность проблемы. Отечественное производство окучкованного железорудного сырья для доменной плавки, на современном этапе своего существования, переживает далеко не самые лучшие времена. Печально известный мировой экономический кризис, жесткая конкуренция со стороны зарубежных производителей, наконец, недопустимо высокая степень устарелости и износа технологического оборудования – вот факторы, которые наносят поистине нокаутирующие удары этой отрасли металлургии. Чтобы достойно выглядеть в уже сложившейся неблагоприятной обстановке, необходимо принимать разумные решения, а не продолжать разрушительную эксплуатацию агрегатов, которые давно исчерпали свои ресурсы. Нужны ремонты и модернизация. Однако, за последние 20 лет, отсутствие достаточного финансирования для проведения этих мероприятий стало постыдной нормой [1]. Напрашивается очевидный вывод – необходимая модернизация, в таких условиях, должна быть предельно дешевой. Обеспечения высокого качества готовой продукции и интенсификации процессов производства, нужно достигать за счет роста эффективной мощности производственных агрегатов, без использования дорогостоящих изменений в их конструкции, поскольку они неизбежно связаны с повышением металлоемкости, трудностями и затратами при монтаже, ремонте и эксплуатации.

© Ковалёв Д.А., Ванюкова Н.Д., Худяков А.Ю., Бойко М.Н., 2010

В области производства железорудных окатышей, одним из способов реализации данной концепции, является применение режимов высокотемпературной сушки железорудных окатышей, позволяющих интенсифицировать процесс обжига на конвейерных машинах путем совмещения сушки и окисления окатышей. Достоинства и особенности данной технологии подробно рассмотрены авторами в [2], тем не менее здесь нельзя не отметить, что она в положительную сторону отличается от имеющихся предложений (например, двухслойной загрузки окатышей на конвейерную обжиговую машину [3]), тем, что, преследуя те же цели, не требует значительных капиталовложений, а, значит, полностью соответствует требованиям сегодняшнего дня.

Постановка задачи. Реализация технологии сушки окатышей в высокотемпературном режиме невозможна без четкого представления о результатах и механизме взаимного воздействия основных параметров процесса на ключевые показатели технологического режима сушки, поскольку как обоснование, так и развитие этой технологии, требует наличия достоверных данных об основных закономерностях такого влияния. В рамках данной работы, поставлена следующая цель: с помощью динамической математической модели [4] изучить и описать особенности влияния скорости подачи газа-теплоносителя, его температуры, и продолжительности сушки на температуру окатышей в слое, их влажность и содержание в них оксида железа (II) по высоте слоя.

Анализ достижений и публикаций. Многие авторы [5,6,7], так или иначе, занимались вопросами, изучаемыми в этой работе, однако комплексного их исследования, не проводили. Между тем, тщательный и всесторонний анализ, с последующим получением стройной картины, описывающей рассматриваемые здесь закономерности, будет полезен в разработке новых и совершенствовании существующих технологий работы обжиговых агрегатов.

Изложение материала и результаты. Методика исследования. Для проведения экспериментальной части данной работы, была использована динамическая математическая модель [4], основанная на описании реальных физико-химических и тепловых механизмов, вовлеченных в процесс обжига окатышей. Превращения в этой

системе анализируются с позиций кинетики, основанной на кинетических уравнениях. Для общего случая топохимического реагирования модель массопереноса включает химическое взаимодействие и диффузию газового компонента в пограничной пленке и через пористый слой продукта реагирования.

В процессе исследования были приняты следующие исходные данные: основность окатышей – 0,7 ед., крупность – 10-20 мм, влажность - 10% высота слоя – 250 мм. Скорость фильтрации газа-теплоносителя – 0,6; 0,9 и 1,2 м/с, а его температура – 300, 600, 900 °С. Продолжительность сушки равнялась 3,6 и 9 минут. Замеры температуры слоя, влажности окатышей и содержания в них FeO проводились на расстояниях 60, 120 и 180 мм от колосниковой решетки.

Результаты исследования. Для получения полиномиальных зависимостей, описывающих влияние температуры газа, скорости его фильтрации и времени сушки на температуру слоя, его влажность и содержание окиси железа (II), были реализованы трехфакторные эксперименты с использованием метода центрального композиционного ортогонального планирования второго порядка (план Бокса-Бенкина). Была принята следующая кодировка факторов: температура горна - X1; скорость фильтрации – X2; содержание бентонита – X3. Интервалы варьирования и величины уровней факторов, приведенные к условиям стандартной матрицы, представлены в таблице 1. Расчет коэффициентов регрессии полиномов и их ошибок был проведен по стандартным формулам [8, 9].

В результате были получены следующие полиномиальные модели:

1) зависимости температуры в слое от скорости газа, температуры и времени сушки на расстоянии

- 180 мм от колосниковой решетки:

$$T_{180} = -1140,88 + 0,111667x_1 + 1096,667x_2 + 190,0833x_3 - 0,18611x_1x_2 + 0,073611x_1x_3 - 59,7222x_2x_3 + 0,000554x_1^2 - 229,167x_2^2 - 10,7917x_3^2;$$

- 120 мм от колосниковой решетки:

$$T_{120} = -429,125 - 0,53917x_1 + 1172,5x_2 - 11,4167x_3 + 0,0916x_1x_2 + 0,159167x_1x_3 + 0,277x_2x_3 + 0,00011x_1^2 - 623,611x_2^2 - 2,01389x_3^2;$$

- 60 мм от колосниковой решетки:

$$T_{60} = 386,25 - 1,41833x_1 + 177,5x_2 - 49,41667x_3 + 0,82777x_1x_2 + 0,11277x_1x_3 + 35,555x_2x_3 + 0,000288x_{12} - 394,444x_{22} - 1,3888x_{32}.$$

Таблица 1

Натуральные значения факторов для уровней

Уровень	X1, °C	X2, м/с	X3, мин
верхний	900	1,2	9
нулевой	600	0,9	6
нижний	300	0,6	3
Интервал варьирования	300	0,3	3

2) зависимости влажности окатышей в слое от скорости газа, температуры и времени сушки на расстоянии

- 180 мм от колосниковой решетки:

$$W_{180} = 12,092 - 0,00958x_1 - 6,667x_2 - 1,30833x_3 + 0,002777x_1x_2 + 0,000889x_1x_3 + 0,61111x_2x_3;$$

- 120 мм от колосниковой решетки:

$$W_{120} = 51,0125 - 0,044583x_1 - 39,25x_2 - 4,658333x_3 + 0,0916667x_1x_2 + 0,001361x_1x_3 + 1,41666x_2x_3 + 0,00001125x_{12} + 7,916x_{22} + 0,156944x_{32};$$

- 60 мм от колосниковой решетки:

$$W_{60} = 64,175 - 0,0565x_1 - 47,20833x_2 - 5,5208x_3 + 0,010555x_1x_2 + 0,000667x_1x_3 + 0,472222x_2x_3 + 0,00002569x_{12} + 19,8611x_{22} + 0,276389x_{32}.$$

3) зависимости содержания FeO в окатышах от скорости газа, температуры и времени сушки на расстоянии

- 180 мм от колосниковой решетки:

$$FeO_{180} = 30,85388 - 0,01184x_1 + 6,63125x_2 + 0,30633x_3 - 0,00153x_1x_2 - 0,00222x_1x_3 + 0,315278x_2x_3 - 6,41389x_{22} - 0,05122x_{32};$$

- 120 мм от колосниковой решетки:

$$FeO_{120} = 25,5775 + 0,01344x_1 + 0,5125x_2 + 1,05375x_3 - 0,004x_1x_2 - 0,002294x_1x_3 - 0,186111x_2x_3 - 0,000017x_{12} - 0,01389x_{22} - 0,057361x_{32};$$

- 60 мм от колосниковой решетки:

$$FeO_{60} = 9,745 + 0,037475x_1 + 20,654x_2 + 1,4229x_3 - 0,00661x_1x_2 - 0,00364x_1x_3 - 0,05833x_2x_3 - 0,0000241x_{12} - 10,4583x_{22} - 0,03403x_{32}.$$

Адекватность полученных математических моделей реальному процессу, проверяли с помощью критерия Фишера. Значения критериев Фишера составили:

1) для полинома зависимости температуры в слое от скорости газа, температуры и времени сушки на расстоянии

- 180 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 3,49 < 3,9 = F_{0.05 табл.};$$

- 120 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 1,82 < 3,9 = F_{0.05 табл.};$$

- 60 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 3,22 < 3,9 = F_{0.05 табл.}.$$

2) для полинома зависимости влажности окатышей в слое от скорости газа, температуры и времени сушки на расстоянии

- 180 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 2,196 < 3,9 = F_{0.05 табл.};$$

- 120 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 1,685 < 3,9 = F_{0.05 табл.};$$

- 60 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 3,388 < 3,9 = F_{0.05 табл.}.$$

3) для полинома зависимости влажности окатышей в слое от скорости газа, температуры и времени сушки на расстоянии

- 180 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 1,26 < 3,9 = F_{0.05 табл.};$$

- 120 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 1,54 < 3,9 = F_{0.05 табл.};$$

- 60 мм от колосниковой решетки:

$$F_{расч} = 1,02 < 3,9 = F_{0.05 табл.}.$$

Поскольку расчетные значения критериев Фишера меньше табличных для соответствующего уровня значимости и степеней свободы [8], адекватность моделей обоснована и, значит, полученные полиномы достаточно точно описывают процессы изменения температуры и влажности окатышей в слое и содержания в них FeO под влиянием выбранных факторов.

Полученные полиномиальные зависимости для выбранных уровней факторов в табличном исполнении представлены на рис. 1. В целях большей наглядности, на рис. 2, 3, 4 размещены графические

отображения этих данных, сгруппированные таким образом, что на рис. 2 изображены зависимости температуры окатышей по высоте слоя от температуры горна при разных скоростях фильтрации и времени сушки 3,6,9 мин.; на рис.3 – зависимости содержания влаги в окатышах по высоте слоя от тех же факторов, и на рис.4 – зависимости содержания FeO в окатышах по высоте слоя от температуры горна при разных скоростях фильтрации и времени сушки 3,6,9 мин.

Анализ приведенных на рис.2 зависимостей, подтверждает имеющиеся данные [10] о качественном характере влияния рассматриваемых факторов на основные показатели процесса сушки железорудных окатышей. Повышение температуры газа-теплоносителя, скорости его фильтрации и продолжительности сушки увеличивает количество тепла, вносимого в слой, и, следовательно, способствует росту температуры окатышей. Следует отметить, что при времени сушки 3 минуты, температура нижних горизонтов слоя не превысила 100 °С во всем диапазоне скоростей фильтрации от 0,6 до 1,2 м/с. При времени сушки 9 минут и температуре газа 900 °С, наблюдался перегрев верха слоя окатышей до 924-980 °С (в зависимости от скорости фильтрации теплоносителя) вследствие окисления магнетита. Также имел место незначительный, до 30°С, перегрев верха слоя при времени сушки 6 минут и температуре горна 900°С, в то же время, при длительности сушки 3 минуты, температура на расстоянии 180 мм. от колосниковой решетки составила 326-650°С. В целом, можно сделать вывод о том, что ведение процесса при высоких температурах (до 900°С) во временном диапазоне от 6 до 9 минут, со значительным запасом, позволяет развить технологически приемлемые температуры в слое окатышей, а 3 минут сушки для этого явно недостаточно.

		а) Температура слоя, °С										
		время сушки, мин										
		3,00			6,00			9,00				
		скорость газа, м/с			скорость газа, м/с			скорость газа, м/с				
Температура сушки, °С	300,00	0,60	0,90	1,20	0,60	0,90	1,20	0,60	0,90	1,20	Высота в слое, мм	
		70	100,00	120,00	150,00	192,00	259,00	199,00	278,00	295,00		180,00
		60	60	80	60	70	115	102	157	263		120,00
	600,00	60	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	80,00	120,00	159,00		60,00
		108	288,00	397,00	407,00	521,00	576,00	517,00	530,00	591,00		180,00
		60	90	116	150	320	381	375	405	432		120,00
	900,00	60,00	60,00	60,00	80,00	178,00	205,00	136,00	207,00	264,00		60,00
		326,00	537,00	650,00	875,00	933,00	917,00	924,00	980,00	960,00		180,00
		60,00	180,00	391,00	416,00	478,00	504,00	800,00	850,00	835,00		120,00
		60,00	60,00	80,00	128,00	398,00	426,00	504,00	526,00	554,00		60,00

		б) Влажность слоя, %										
		время сушки, мин										
		3,00			6,00			9,00				
		скорость газа, м/с			скорость газа, м/с			скорость газа, м/с				
Температура сушки, °С	300,00	0,60	0,90	1,20	0,60	0,90	1,20	0,60	0,90	1,20	Высота в слое, мм	
		5,4	3,20	0,70	1,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00		180,00
		8,2	7,3	6,3	6,9	4,8	0	3,5	0,9	0		120,00
	600,00	12,5	12,00	11,40	11,30	9,20	7,50	9,80	4,00	2,50		60,00
		2,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		180,00
		6,8	5,4	1,7	1	0	0	0	0	0		120,00
	900,00	10,60	9,90	8,90	5,30	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00		60,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		180,00
		3,40	1,50	0,00	0	0	0	0	0	0		120,00
		8,00	5,60	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		60,00

		в) Содержание FeO, %										
		время сушки, мин										
		3,00			6,00			9,00				
		скорость газа, м/с			скорость газа, м/с			скорость газа, м/с				
Температура сушки, °С	300,00	0,60	0,90	1,20	0,60	0,90	1,20	0,60	0,90	1,20	Высота в слое, мм	
		26,461	26,407	26,188	25,8	25	24,552	23,8	22,85	22		180,00
		27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	26,4	25,1	24,3	24		120,00
	600,00	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	26,7	26	25,4		60,00
		22,87	21,36	19,096	18,5	17,65	16,368	13,56	11,22	10,921		180,00
		24,68	23,98	23	22,1	20,85	19,42	18	17,1	15,65		120,00
	900,00	27	26,22	25,31	25,6	24	22,97	20,3	19,26	18,4		60,00
		16,368	15,66	14,59	10,00	9,23	8,2	5	4,1	2,78		180,00
		18,87	17,46	16,32	12,98	11,54	10,64	7,7	6,2	5,3		120,00
		25	23,6	19,56	15,67	14,248	13,29	10	9,2	8,184		60,00

Рисунок 1 - Влияние температуры сушки, скорости фильтрации и времени сушки на: а) – температуру окатышей в слое; б) – влажность окатышей; в) – содержание FeO в окатышах прочности на сжатие брикетов и окатышей

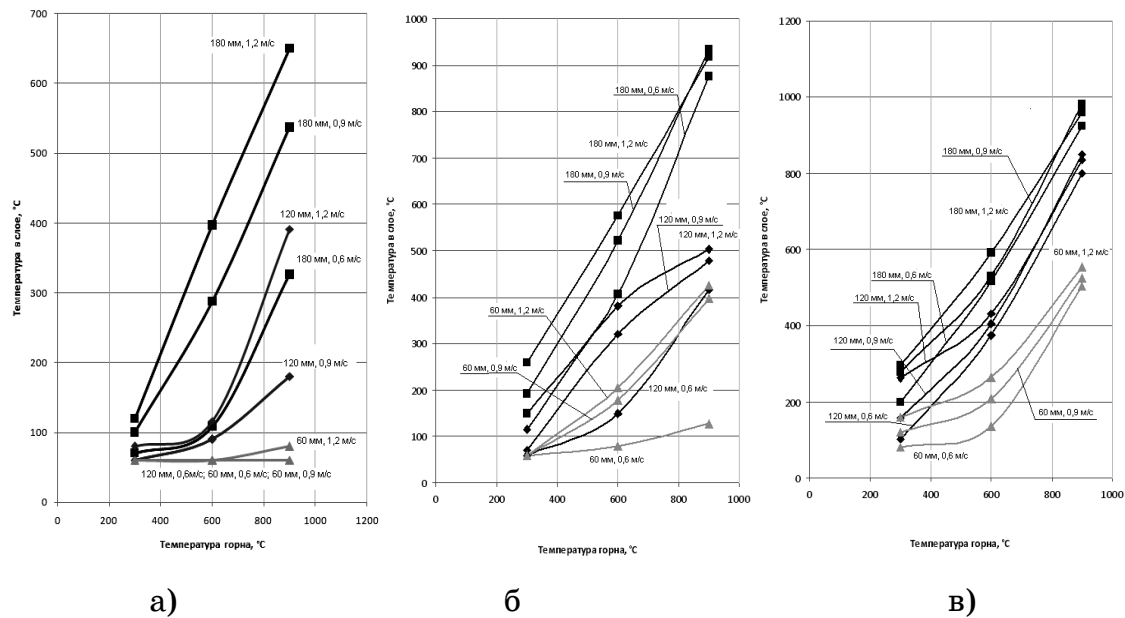


Рисунок 2 - Зависимость температуры в слое от температуры горна на расстояниях 60, 120, 180 мм от колосниковой решетки при скоростях фильтрации 0,6; 0,9; 1,2 м/с и времени сушки:

а) - 3 минуты; б) - 6 минут; в) - 9 минут

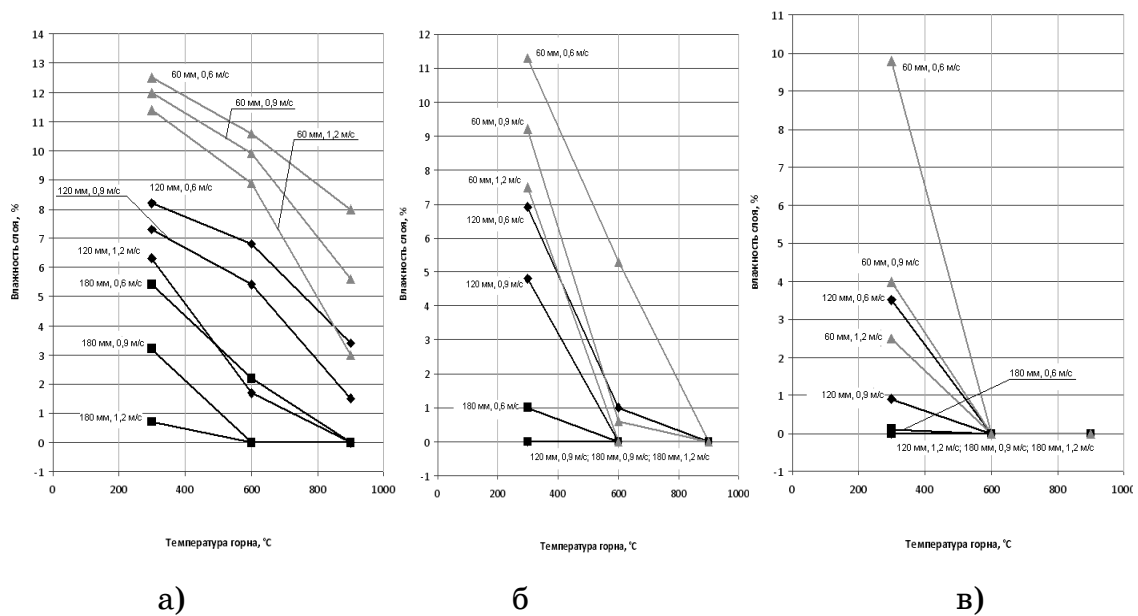


Рисунок 3 - Зависимость влажности окатышей в слое от температуры горна на расстояниях 60, 120, 180 мм от колосниковой решетки при скоростях фильтрации 0,6; 0,9; 1,2 м/с и времени сушки:

а) - 3 минуты; б) - 6 минут; в) - 9 минут

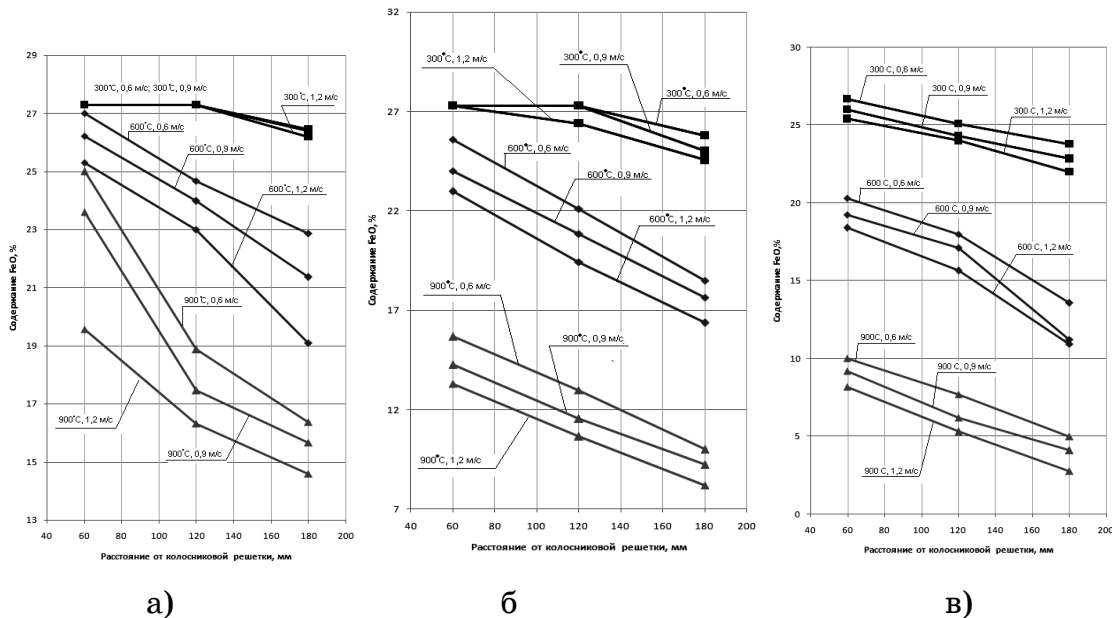


Рисунок 4 - Зависимость содержания FeO в окатышах от температуры горна на расстояниях 60, 120, 180 мм от колосниковой решетки при скоростях фильтрации 0,6; 0,9; 1,2 м/с и времени сушки: а) - 3 минуты; б) – 6 минут; в) – 9 минут

Графики, изображенные на рис.3, свидетельствуют о наличии прямо пропорциональной зависимости между влажностью окатышей и избранными для исследования факторами (температура горна, скорость фильтрации, время сушки). При температуре сушки 300°C наблюдается переувлажнение нижних горизонтов слоя окатышей, причем, чем ниже скорость фильтрации газа и меньше время сушки, тем сильнее степень его развития. Так, при времени сушки 9 минут, окатыши низа слоя не переувлажняются, а при 3 минутах (скорость фильтрации, 0,6 м/с, и температура горна, 300°C,- постоянны в обоих случаях) величина переувлажнения достигает своего максимального значения и составляет 25 %. По всей высоте слоя влага фактически полностью, до содержания около 1%, удаляется при температуре газа 600°C и времени сушки 6 минут, для всех скоростей фильтрации, кроме 0,6 м/с. Если реализовывать процесс при 900°C, то за 6 минут сушки, влага без остатка испаряется из всех горизонтов слоя, вместе с тем, при этой температуре и после 3 минут сушки, степень удаления влаги в слое достигает значительных отметок: верх слоя высушивается полностью, середина – до 3,4%, при самой низкой скорости фильтрации (0,6 м/с), а в нижних горизонтах и близко нет

переувлажнения. Эти данные, а также графики, изображенные на рис. 2, позволяют сделать вывод о том, что при ведении процесса в высокотемпературном режиме, влага успевает испариться задолго до истечения 6-ти минут (об этом свидетельствуют и высокие температуры в слое – низ слоя разогревается до 400°C). На наш взгляд, целесообразно установить такой режим, чтобы в начале сушки температура горна составляла 300°C , а затем, плавно поднимаясь, достигла 900°C на 6-ой минуте. Осуществление этой рекомендации позволит избежать переувлажнения в начальном периоде сушки и, не понижая качества окатышей, полностью удалить из них влагу к 6-ой минуте ведения процесса.

Изменение содержания остаточного FeO в окатышах по высоте слоя в зависимости от температуры, скорости фильтрации газа и времени сушки, отображено на рис. 4. При температуре 300°C , окатыши окисляются в незначительной степени (до 22% содержания FeO вверху слоя при максимальных времени сушки и скорости фильтрации). С повышением температуры газа-теплоносителя и скорости его фильтрации, степень содержания FeO в окатышах значительно снижается, и в высокотемпературном режиме (900°C) достигает значений 2,78; 5,3 и 8,184 % для окатышей на расстояниях 180,120 и 60 мм от колосниковой решетки, при скорости фильтрации 1,2 м/с. Таким образом, при росте всех избранных для исследования факторов, содержание остаточного FeO падает, что объясняется очевидным образом: повышение температуры слоя увеличивает подвижность частиц в кристаллической решетке, а повышение скорости фильтрации газа – парциальное давление кислорода, необходимого для протекания реакции окисления магнетита.

Выводы. Проведенным исследованием установлено, что сушка окатышей в высокотемпературном режиме, позволяет одновременно осуществлять сушку и окисление окатышей, без их разрушения и с достижением предельно низкого содержания FeO. Реализация этих двух процессов в одной технологической зоне даст возможность повысить производительность обжиговой машины без ухудшения качества окатышей и дорогостоящих конструктивных изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные тенденции и практика совершенствования технологии и оборудования для производства окучкованного сырья в России / Бруев В.П., Гриненко В.И., Евстюгин С.Н. и др.// Сталь.- 2006.- №6.- с.5-9.
2. Исследование и разработка режимов высокотемпературной сушки окатышей / Ковалев Д.А., Худяков А.Ю.// // Новини науки Придніпров'я. – 2010. – №1.– С. 176 – 180.
3. Пат. 2173824 РФ. Конвейерная обжиговая машина для термообработки окатышей / В.М. Абзалов, В.Н. Ашеулов, В.А. Барсов и др.- опубл. 20.09.2001. бюл. 26
4. Разработка динамической математической модели для управления обжигом углеродсодержащих железорудных окатышей / Ковалёв Д.А., Ванюкова Н.Д., Бойко М.Н. // Системні технології : регіон. міжвуз. зб. наук. праць. .– 2008г – Дніпропетровськ: Системні технології, № 1. – с. 93-102.
5. Математическое моделирование процесса слоевой сушки железорудных окатышей/ Майзель Г.М., Буткарев А.П., Шкляр Ф.Р. и др.// Сталь.- 1995.- №4.- с.11-15.
6. Братчиков С.Г., Берман Ю.А., Белоцерковский Я.Л., Бабошин В.М., Майзель Г.М. Теплотехника окучкования железорудного сырья.- М.: Металлургия, 1970.-344с.
7. Кузнецов Р.Ф., Майзель Г.М., Буткарев А.П. и др. // Бюл. ин-та «Черметинформация» - 1973 - №8 – с. 20-22.
8. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента. – Киев-Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 120 с.
9. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов.- Л.: Химия, 1987 – 356 с.
10. Интенсификация процессов сушки и обжига окатышей/ Петров А.В., Бережной Н.Н., Воскеричян Н.В. и др.// Сталь.- 1976.- №6.- с. 491-494.

Получено 01.10.2010г.

УДК 621.771

И.К. Огинский

**НАЗВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПРИ ПРОКАТКЕ ДВУТАВРОВЫХ ПРОФИЛЕЙ
В ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОМ КАЛИБРЕ**

Анотація. Виконано аналіз деформаційних особливостей при прокатці двотаврових балок у чотирьохвалковому калібрі, отримано аналітичні залежності для визначення меж осередку деформації і площ контакту металу з валком; у постановці та вирішенні задачі враховано, що формозмінення фланця може починатися поза межами геометричного осередку деформації спочатку у формі внеконтактного вигину з подальшим переходом до стану обтисків. Деформація позаконтактного вигину є регулюючим фактором при розподілі обтиснень між валками. З використанням отриманих залежностей виконано аналіз сил, що виникають на вертикальних і горизонтальних валках при прокатці двотаврових балок в універсальних калібрах на станах 550 і 600.

Ключові слова: прокатка, двотаврова балка, контактна площа, обтиск, осередок деформації.

Двутавровые балки малых и средних размеров производят с уклоном внутренних граней полок или с параллельными полками; первые, как правило, производят с использованием закрытых балочных калибров в черновых клетях, в предчистовых и чистовых проходах применяют универсальные клетки. При всех неоспоримых технологических преимуществах четырехвалковых (универсальных) калибров перед закрытыми, их применение всегда сопряжено с трудностями в части эксплуатации универсальных клетей. Характер распределения металла по сечению двутавровой балки (полка по толщине в 1,5...2,5 раза больше чем стенка) предусматривает соответствующие режимы обжатий, следствием которых являются различные нагрузки на вертикальные и горизонтальные валки – нагрузки на вертикальными валки всегда выше. Еще более заметной разница становится при прокатке широкополочных и колонных балок [1, 2]. Все это при том, что по своим конструктивным особенностям подшипниковые узлы вертикальных валков обладают меньшей грузоподъемностью чем горизонтальные. (Под

грузоподъемностью понимается максимальное усилие, воспринимаемое подшипниковым узлом). В мировой практике постоянно ведутся поиски новых технических решений в части технологии и оборудования, позволяющие повысить эксплуатационную надежность универсальных клетей, о таких исследованиях говорится, например, в работе [3].

Целью настоящей работы является анализ деформационных особенностей при прокатке двутавровых балок в четырехвалковом калибре, выявление возможностей рационального распределения обжатий между горизонтальными и вертикальными валками, разработка предложений, направленных на уменьшение нагрузок на валки.

Для оценки сил, действующих на горизонтальные и вертикальные валки, необходимо знание контактных площадей и протяженности их границ. Их определение в случаях прокатки балок с уклоном внутренних граней полок и с параллельными полками имеет свои особенности. При прокатке балок с параллельными полками уклоны образующих конических поверхностей вертикальных валков и сопрягаемых конических участков горизонтальных равны. Названная особенность является характерной для прокатки в реверсивной универсальной клетки, в указанном случае границы очага деформации и площади контактной поверхности металла с валком будут иметь вид, близкий к показанному на рис. 1 а.

Для подобных случаев границы очага деформации и контактные площади могут быть определены на основе метода, изложенного в работе [4]. Названный метод неприменим для прокатки балок с уклоном, поскольку вертикальные валки выполнены цилиндрическими, а угол наклона образующих конических участков (боковых) горизонтальных валков может изменяться в достаточно широких пределах. В чистовой клетки он не должен превышать требований стандартов (как правило, не более 12 %), в предшествующих калибрах стремятся к увеличению уклона с тем чтобы увеличить съем металла при переточках. В связи с этим обжатие фланцев по высоте может быть весьма неравномерным, соответственно, другим становится и характер контактных площадей металла с валком – размеры и протяженность границ, их форма, как

это показано на рис. 1 б-г. Как правило, прокатку ведут с постепенным уменьшением уклона внутренних граней полок, в этом случае контактная площадь будет иметь вид, аналогичный показанному на рис. 1 б, в пределе она стремится к виду на рис. 1 в, в частных случаях не исключена и обратная картина – рис. 1 г.

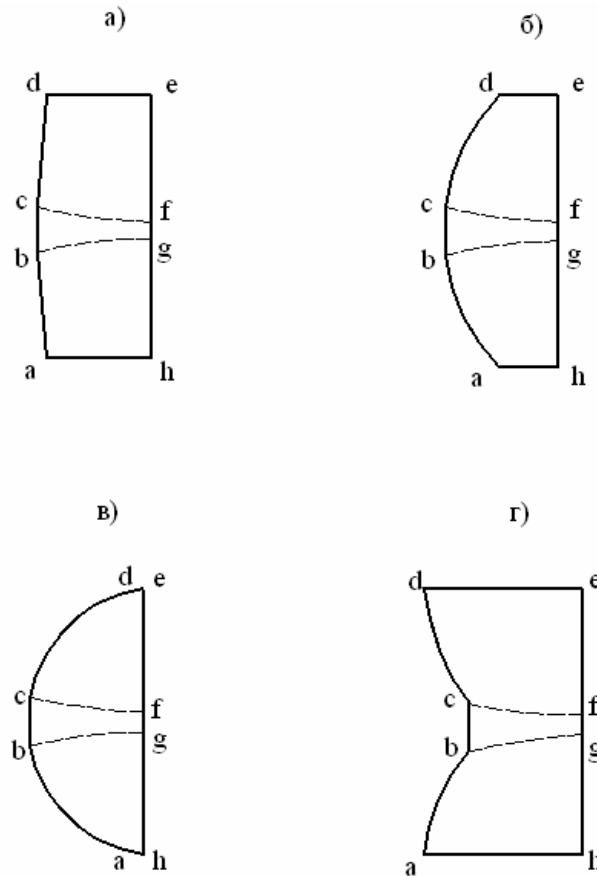


Рисунок 1 - Границы контактной поверхности по полкам при прокатке в универсальном балочном калибре

На рис. 2а изображен калибр рассматриваемого типа, с ним совмещен задаваемый раскат. Распределение обжатий между вертикальным валком Δt_B и боковой поверхностью горизонтального Δt_Γ (рис. 2б) представляет собой достаточно сложную и неоднозначную картину, меняющуюся в зависимости от положения по высоте секущей плоскости N-N. Названная картина зависит от формы раската, профиля горизонтального вала и диаметра вертикального, в результате совместных действий названных факторов происходит перераспределение обжатий фланцев между вертикальным валком и боковой поверхностью горизонтального.

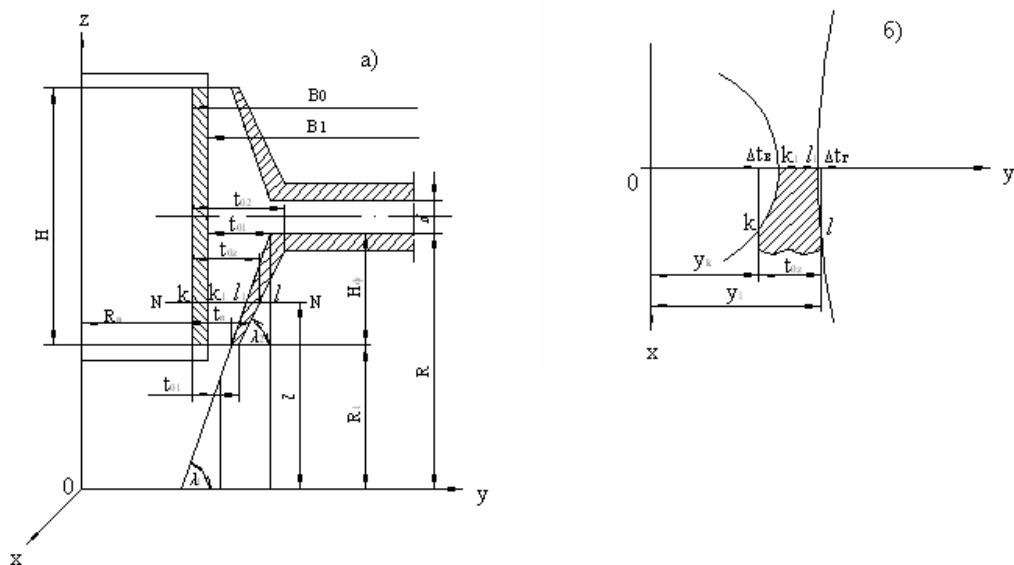


Рисунок 2 - Схема четырехвалкового балочного калибра

Формоизменение фланца начинается вне границ геометрического очага деформации первоначально в форме внеконтактного изгиба (рис. 3) с последующим переходом к состоянию обжатий, раскат при этом стремится занять положение наименьшей свободы. Деформация внеконтактного изгиба становится регулирующим фактором при распределении обжатий между валками.

В частном случае деформация внеконтактного изгиба может отсутствовать, это происходит когда упомянутые уклоны раската и валка равны, а ширина первого такова, что отсутствует стремление фланцев к поперечному перемещению. На рис. 3 а показано исходное состояние раската по отношению к калибру. Это наиболее распространенный на практике случай – уклоны внутренних граней полка и образующей конической поверхности горизонтального валка отличаются, причем уклон входящего раската больше. Так происходит при прокатке в смежных универсальных клетях, где профили горизонтальных валков практически всегда отличаются. При пластическом изгибе происходит изменение формы раската без изменения площади поперечного сечения и размеров в плоскостях горизонтальных сечений $N - N$, т.е. $kl = k'l'$; $mn = m'n'$. Границей контактной поверхности на вертикальном валке является пространственная линия, лежащая на цилиндрической поверхности (рис. 4), границей соответствующей контактной площади на

горизонтальном валке также будет пространственная линия, но лежащая на конической поверхности (рис. 5).

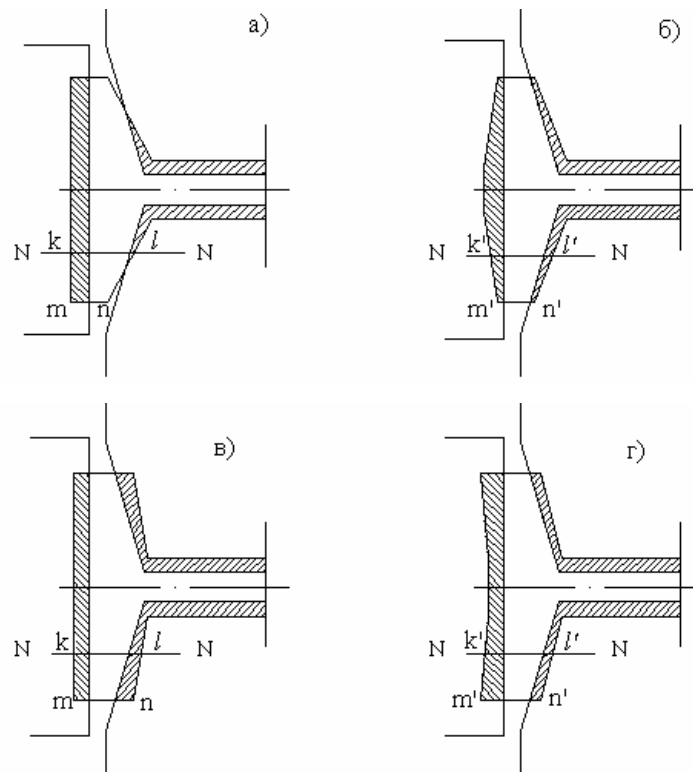


Рисунок 3 - Схемы распределения обжатий фланцев между горизонтальным и вертикальным валками

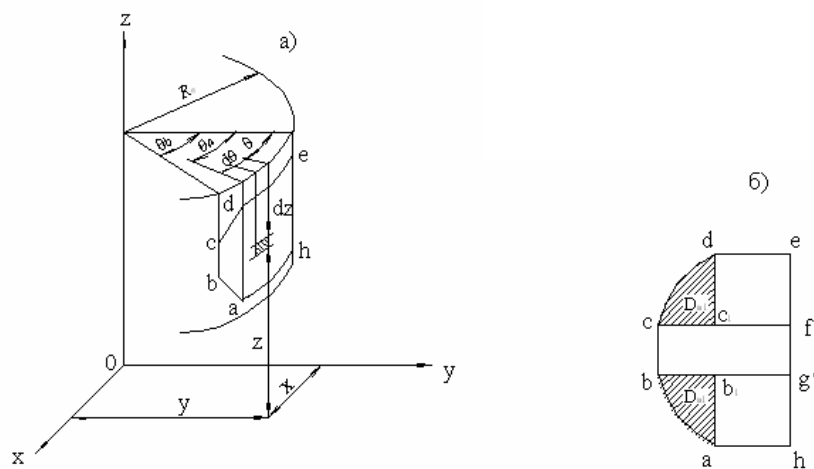


Рисунок 4 - К определению площади контакта полки с вертикальным валком

Площадь контакта фланца с горизонтальным валком найдем интегрированием по области, ограниченной упомянутой

пространственной линией, которая в свою очередь определяется совместным решением уравнений поверхностей горизонтального вала, вертикального и раската.

Уравнения линий пересечения плоскости $N-N$ (рис. 2.а) с поверхностями валков будут иметь вид:

- с поверхностью горизонтального вала:

$$X^2 + Z^2 - \left[(Y_I - R_B - t_{II}) \operatorname{tg} \lambda_1 + R_1 \right]^2 = 0. \quad (1)$$

- с поверхностью вертикального вала:

$$X^2 + Y_b^2 - R_B^2 = 0. \quad (2)$$

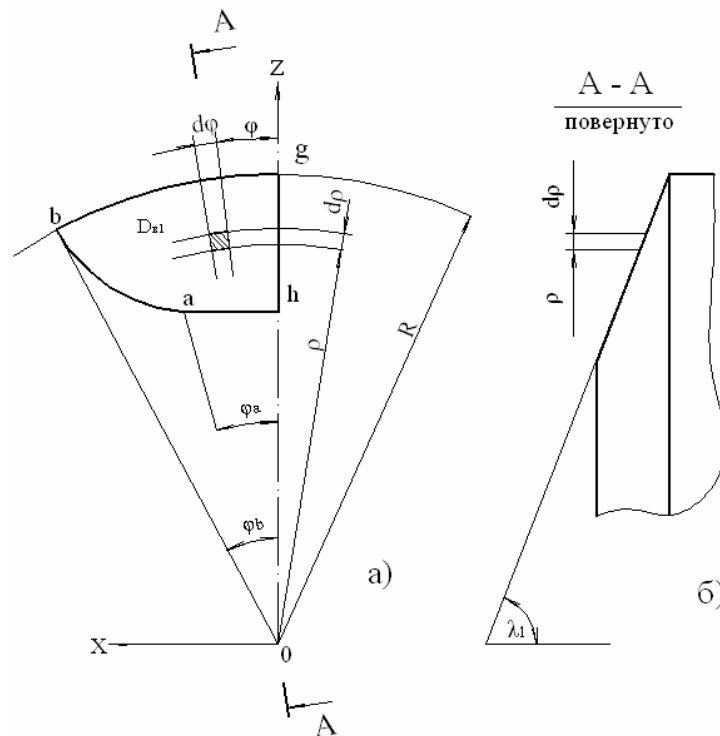


Рисунок 5 - К определению площади контакта фланцев с горизонтальным валком

Уравнение поперечного сечения наклонного участка раската (рис. 2 а) можно представить в виде:

$$t_{OZ} = t_{OI} + \frac{Z - R_1}{\operatorname{tg} \lambda_2}. \quad (3)$$

Разность координат точек K и l составляет расстояние между ними. Решив уравнения (1) и (2) относительно Y и приравняв их разность выражению (3), находим:

$$\frac{\sqrt{X^2 + Z^2 - R_1}}{tg \lambda_1} + R_B + t_{II} - \sqrt{R_B^2 - X^2} = \frac{Z - R_1}{tg \lambda_2}. \quad (4)$$

Полученное выражение, являющееся уравнением четвертой степени, можно упростить перейдя к цилиндрическим координатам.

При

$$X = \rho \cdot \sin \varphi; Y = Y; Z = \rho \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

выражение (4) примет вид:

$$\rho - R_1 + tg \lambda_1 \left(R_B + t_{II} - \sqrt{R_B^2 - \rho^2 \cdot \sin^2 \varphi} - t_{OI} - \frac{\rho \cdot \cos \varphi - R_1}{tg \lambda_2} \right) = 0. \quad (6)$$

Введя обозначения:

$$\frac{tg \lambda_1}{tg \lambda_2} = n; \quad (7)$$

$$tg \lambda_1 \cdot (R_B - t_{OI} + t_{II}) + R_1 \cdot (n - 1) = D_1; \quad (8)$$

после преобразований получим:

$$\rho^2 \left[(1 - n \cdot \cos \varphi)^2 + tg \lambda_1 \cdot \sin^2 \varphi \right] + 2 \cdot \rho \cdot (1 - n \cdot \cos \varphi) \cdot D_1 + D_1^2 - tg \lambda_1 \cdot R_B^2 = 0 \quad (9)$$

Выражения (4) и (9) представляют собой геометрическое место точек, определяющих границу участка входной части геометрического очага деформации (линия ab на рис. 1). Верхней границей контактной площади нижнего фланца с горизонтальным валком является линия bg , представляющая собой дугу окружности радиусом R (рис. 5 а). Выходной границей очага деформации является плоскость, проекция ее на XOZ представлена прямой gh .

Площадь контакта конического участка горизонтального валка с фланцем находим интегрированием по области D_r (рис. 5 а):

$$F_{r\varphi} = \frac{1}{\sin \lambda_1} \iint_{D_r} \rho d\varphi d\rho = \frac{1}{\sin \lambda_1} \left[\int_{\varphi_a}^{\varphi_b} d\varphi \int_{\rho_1=f(\varphi)}^R \rho d\rho + \int_0^{\varphi_a} d\varphi \int_{\rho_2=\frac{R_1}{\cos \varphi}}^R \rho d\rho \right]. \quad (10)$$

Величины φ_a и φ_b определяются из уравнения (9). Учитывая, что в точке a

$$\rho = \frac{R_1}{\cos \varphi} \quad (11)$$

после преобразований получим

$$\varphi_a = \arctg \frac{1}{R_1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R_1 \cdot D_1 \cdot (n-1) - R_1^2 \cdot (n-1)^2 - D_1^2 + tg^2 \lambda_1 \cdot R_B^2}{tg^2 \lambda_1 + 1}}. \quad (12)$$

Аналогично определяется координата точки b , в которой $\rho = R$

$$\varphi_b = \arccos \frac{\sqrt{(R + D_1)^2 \cdot t^2 \cdot \lambda_2 + (tg^2 \lambda_2 - 1) \cdot (R^2 - R_B) - R - D_1}}{n \cdot R \cdot (tg^2 \lambda_2 - 1)}. \quad (13)$$

Интегрируя выражение (10), получим:

$$F_{\Gamma\Phi} = \frac{1}{2 \cdot \sin \lambda_1} \cdot \left[R^2 \cdot \varphi_B - R_1^2 \cdot tg \varphi_a - \int_{\varphi_a}^{\varphi_b} f^2(\varphi) d\varphi \right]. \quad (14)$$

Уравнение (14) решается численными методами. Для определения площади контактной поверхности вертикального вала воспользуемся схемой, приведенной на рис. 4, из которой следует:

$$F_B = (Z_c - Z_b) \cdot R_B \cdot \theta_b + 2 \cdot (Z_b - Z_a) \cdot R_B \cdot \theta_a + 2 \cdot F_{BI}, \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned} F_{BI} &= R_B \cdot \iint_{DBI} d\theta \cdot dZ = R_B \cdot \int_{\theta_a}^{\theta_b} d\theta \cdot \int_{Z=f(\theta)}^{Z_b} dZ = \\ &= R_B \cdot \int_{\theta_a}^{\theta_b} (Z_b - f(\theta)) \cdot d\theta = R_B Z_b \cdot (\theta_b - \theta_a) - R_B \cdot \int_{\theta_a}^{\theta_b} f(\theta) d\theta. \end{aligned} \quad (16)$$

Величины Z_a и Z_b можно определить, используя найденные ранее значения φ_a и φ_b :

$$Z_a = R_1 \cdot \cos \varphi_a; \quad (17)$$

$$Z_b = R \cdot \cos \varphi_b. \quad (18)$$

Для определения подинтегральной функции в выражении (16) перейдем к новым цилиндрическим координатам:

$$X = R_B \cdot \sin \theta; \quad Y = R_B \cdot \cos \theta; \quad Z = Z. \quad (19)$$

Приравнивая соответствующим образом выражения (18) и (5), находим:

$$\theta_a = \arcsin \frac{R_1}{R_B} \cdot tg \varphi_a; \quad (20)$$

$$\theta_b = \arcsin \frac{R}{R_B} \cdot \sin \varphi_b. \quad (21)$$

В новых координатах выражение (4) примет вид:

$$\sqrt{R_B^2 \cdot \sin^2 \theta + Z^2} - R_1 + \operatorname{tg} \lambda_1 \cdot (R_B + t_{II}) - \operatorname{tg} \lambda_1 \cdot R_B \cdot \cos \theta - \\ - \operatorname{tg} \lambda_1 \cdot t_{OI} - Z_h + R_1 \cdot n = 0. \quad (22)$$

Используя обозначения (7) и (8), после преобразований получим:

$$Z^2 \cdot (n^2 - 1) - 2 \cdot Z \cdot n \cdot (D_1 - \operatorname{tg} \lambda_1 \cdot R_B \cdot \cos \theta) - (\operatorname{tg} \lambda_1 + 1) \cdot R_B^2 \cdot \sin^2 \theta - \\ - 2 \cdot D_1 \cdot R_B \cdot \operatorname{tg} \lambda_1 \cdot \cos \theta + R_B^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \lambda_1 + D_1^2 = 0. \quad (23)$$

После подстановки полученного выражения в уравнение (16), интегрирования и преобразований получим:

$$F_{BI} = R_B \cdot (\theta_B - \theta_a) \cdot \left[\frac{(2 \cdot n - 1) \cdot (D_1 - R_B \cdot \operatorname{tg} \lambda_1)}{2 \cdot (n^2 - 1)} - \right. \\ \left. - \frac{\sqrt{(D_1 - R_B \cdot \operatorname{tg} \lambda_1)^2 - (n^2 - 1) \cdot (\operatorname{tg}^2 \lambda_1 - 1) \cdot R_B^2 \cdot \theta_b}}{2 \cdot (n^2 - 1)} - Z_b \right]. \quad (24)$$

Полученные зависимости позволяют выполнить анализ усилий, возникающих на вертикальных и горизонтальных валках при прокатке двутавровых балок в универсальных калибрах. Для создания сравнительной силовой картины нагрузок подшипниковых узлов достаточным является сравнение площадей контакта, определенному по вышеприведенному методу. Анализ выполнен применительно к условиям прокатки двутавровой балки № 10 по ГОСТ 8239-89 и колонной балки 120 по DIN 1025, первая производится на стане 550 Чусовского металлургического завода [5], вторая – на стане 600 Алчевского металлургического комбината [1]. На станах используются универсальные клетки, образованные кассетами с неприводными вертикальными валками. Подшипниковые валковые узлы названных устройств выполнены по достаточно традиционному для универсальных клеток принципу. Анализ показал необходимость снижения нагрузок на вертикальные валки в одном и другом случае или увеличения грузоподъемности подшипниковых узлов. Традиционным в таких случаях является второй путь, но это всегда требует увеличения габаритов оборудования (причем, во всех трех направлениях), для стана 600 это становится непреодолимым ограничением, поскольку использованы все резервы, для стана 550 ограничения носят менее выраженный характер. Схема установки неприводных вертикальных валков в рабочей клетки стана 550

показана на рис. 6 [5], из которого видно, что в поперечном направлении (вдоль осей вращения горизонтальных валков) длина бочки горизонтальных валков позволяет разместить вертикальные валки значительно большего диаметра. Одновременно это вызывает необходимость увеличения высоты кассеты, что нежелательно, поскольку вызывает ослабление тела валка и создает опасность их поломок. Кроме всего, что увеличение диаметра вертикальных валков вызывает рост контактных площадей и соответствующее увеличение нагрузок. Следует также принять во внимание важный деформационный факт, в соответствии с которым всякое увеличение длины площади контакта по полкам приводит к тому, что в большей степени раскрывается зона, где происходит обжатие полки только со стороны вертикального валка. Такой зоной является участок контактной поверхности, ограниченный линиями *cf* и *gb* (рис. 1).

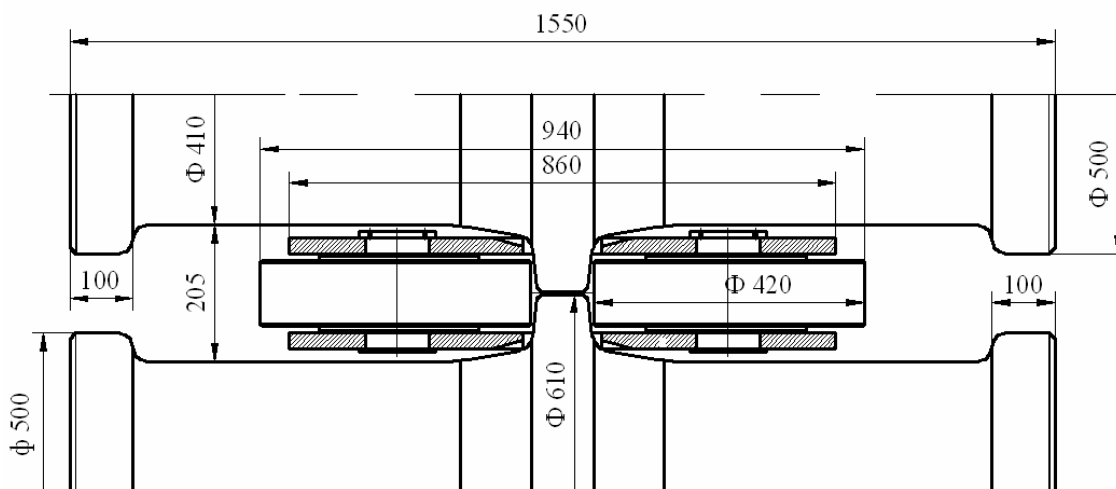


Рисунок 6. Схема установки узла вертикальных валков в чистовой клетке стана 550

Анализ деформационной картины свидетельствует о том, что стенка профиля не в состоянии этому активно воспрепятствовать, поскольку длина дуги контакта по стенке значительно короче линий *cf* и *gb*. Происходит перераспределение металла, в результате которого возникает вдавливание металла вертикальным валком в щель между линиями *cf* и *gb*. Такое перераспределение является нерациональным, поскольку конические и переходные участки горизонтального валка, принимая к обжатию дополнительный объем металла, переходят к более стесненным условиям обжатий, что в

свою очередь приводит к интенсивному износу названных участков. Сказанное является еще одним подтверждением необходимости уменьшения диаметра вертикальных валков, приводя их к оптимальному соотношению: $DB/DГ = 0,25...0,4$. При всей целесообразности названного уменьшения с позиций снижения нагрузок и улучшения деформационной ситуации препятствием становятся прочностные условия узлов вертикальных валков. Эффективным решением, позволяющим выйти на необходимый уровень прочностных характеристик, является уменьшение диаметра вертикальных валков с одновременной установкой их на опорные валки. Сведения о каком-либо широком использовании подобной схемы отсутствуют, известны лишь попытки применить названное решение фирмой «Син ниппон сэйтэцу» (Япония), об этом говорится в работе [3]. Трудности, которые возникают при реализации подобной схемы, проявляются в организации регулировок и операциях сборки-разборки. Подобные трудности не возникают если узел вертикальных валков выполнен по принципу кассеты, этому способствуют ее конструктивные особенности [6]. Для клеток стана 600 разработана конструкция узла вертикальных валков с установкой каждого на два опорных валка, диаметр рабочих валков составляет 250 мм, диаметр опорных – 400 мм. Принцип перевалки клеток в целом сохранился, для регулировки вертикального межвалкового зазора разработано рычажно-эксцентриковое нажимное устройство. Подобный принцип может быть применен для чистовой клетки стана 550.

Выводы

Выполнен анализ деформационных особенностей при прокатке двутавровых балок в четырехвалковом калибре, получены аналитические зависимости для определения границ очага деформации и площадей контакта металла с валком; в постановке и решении задачи учтено, что формоизменение фланца может начинаться вне границ геометрического очага деформации первоначально в форме внеконтактного изгиба с последующим переходом к состоянию обжатий. Деформация внеконтактного изгиба является регулирующим фактором при распределении обжатий между валками. С использованием полученных зависимостей выполнен анализ усилий, возникающих на вертикальных и горизонтальных валках при прокатке двутавровых балок в

универсальных калибрах на станах 550 и 600. Отмечена деформационная особенность, связанная с длиной площади контакта по полкам. Увеличение названной длины приводит к тому, что раскрывается зона, где происходит обжатие полки только со стороны вертикального вала. Сопутствующим явлением становится перераспределение обжатий по площади полки, что выражается во вдавливании металла вертикальным валком в щель между цилиндрическими поверхностями горизонтальных валков. Такое перераспределение является нерациональным, поскольку приводит к интенсивному износу названных участков. На основе анализа силовой и деформационной картины установлено, что оптимальным соотношением вертикальных и горизонтальных валков является $DВ/DГ = 0,25...0,4$. Эффективным решением, позволяющим выйти на необходимый уровень прочностных характеристик и деформационных параметров является уменьшение диаметра вертикальных валков с одновременной установкой их на опорные валки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка и освоение технологии производства колонной двутавровой балки 120 DIN/ М.Б. Луцкий, И.К. Дорожко, А.А. Чичкан, В.А. Луценко // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. – 2005. – Т.8, Пластична деформація металів. – С. 333-336.
2. Разработка и освоение технологии производства двутавров с параллельными гранями полок/ М.Б. Луцкий, И.К. Дорожко, А.А. Чичкан, В.А. Луценко // Сталь. –2001. – № 2. – С.31-33.
3. Илюкович Б.М. Прокатка и калибровка. Справочник: в 6т. / Б. Илюкович. – Днепропетровск:РВА Дніпро-Вал,-2004. – Том 6. – 823 с.
4. Теряев В.А. О площадях контакта металла с валком при прокатке балок в обычных и универсальных калибрах/ В.А. Теряев, Ю.В. Павлович // Прокатное производство. Сб. научн. тр. института черной металлургии. – 1969. – Вып. 29. – С. 146-154.
5. Освоение технологии прокатки двутавровой балки с применением четырехвалкового калибра/ И.К. Огинский, А.П. Грудев, С.Е. Меркурьев [и др.] // Сталь. – 1989. – № 7. – С. 57-59.
6. Огинский И. К. Особенности процесса прокатки простых и фасонных профилей в четырехвалковом калибре, образованном кассетой / И.К. Огинский // Сб. научн. тр. конф. "Деформация металла в многовалковых калибрах". – Магнитогорск. – 1987. – С. 57-59.

Получено 07.10.2010г.

УДК 621.746.39

Я.В. Сегеда, В.Т. Калинин, В.Ф. Мазорчук

СТРУКТУРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИТНОГО СЛОЯ ПРИ ПРОПИТКЕ Fe-C РАСПЛАВОМ НАНОПОРОШКА TiCN

Аннотация. Проведены исследования температурных полей в слое пропитываемого нанопорошка. Установлены зависимости глубины, времени и величины скорости пропитки от температуры заливаемого металла. Проведены металлографические исследования полученных образцов композитных сплавов состава TiCN – хромоникелевый чугуны.

Постановка и анализ проблемы

По данным работ [1,2] механизм взаимодействия расплава металла с пористым слоем легирующего вещества включает следующие процессы:

1. Нагрев слоя порошка или пасты за счет физического тепла расплава.
2. Фильтрация расплава в поры легирующего вещества и дальнейший разогрев его.
3. Растворение зерен легирующего вещества в жидкой фазе в момент фильтрации расплава.
4. Растворение легирующего вещества в жидкой фазе после заполнения межзеренного пространства.
5. Диффузия элементов при охлаждении их в твердом состоянии.

Растворение легирующего вещества, если оно состоит из тугоплавких карбидов, отрицательно влияет на микроструктуру композитного сплава, а следовательно, и на показатели механических свойств. Степень растворения легирующих веществ в жидкой фазе зависит от длительности контакта жидкого расплава и частиц легирующего вещества, а также от температуры компонентов. Для того, чтобы уменьшить растворение твердых частиц необходимо вести процесс пропитки при возможно более низких температурах. Вместе с тем пропитывающий расплав должен иметь запас тепла достаточный для того, чтобы сохранить способность течь в течении времени, необходимого для пропитки слоя порошка ли пасты на заданную

© Сегеда Я.В., Калинин В.Т., Мазорчук В.Ф., 2010

глубину. Поэтому в каждом конкретном случае существует оптимальная температура заливки расплава, величина которой зависит от теплофизических параметров контактирующих фаз и теплоаккумулирующей способности литейной формы.

Цель работы

Установление зависимости глубины и величины скорости пропитки от температуры заливаемого металла и формирование структуры композитного слоя при пропитке чугуном расплавом нанопорошка карбонитрида титана.

Изложение основного материала исследований

Для определения оптимальных температур заливки, а также определения скорости и длительности пропитки были проведены исследования температурных полей в слое пропитываемого нанопорошка. В качестве упрочняющей твердой фазы применяли нанопорошок тугоплавкого карбонитрида титана (TiCN), полученный методом плазмохимического синтеза на специальной высокочастотной установке [3] с размером частиц 10 – 100 нм и наиболее оптимальными термодинамическими характеристиками [4]. Нанопорошок TiCN засыпали в полость песчано-глинистой формы диаметром 25 мм и высотой 60 мм. По высоте формы через каждые 5 мм устанавливали хромель-алюмелевые термопары. Спай термопар располагали на расстоянии 5 мм от верха засыпанного нанопорошка (рис.1). Для записи показаний термопар использовали тридцатиточечный шлейфовый осциллограф Н-010. Форму с установленными термопарами и засыпанным нанопорошком TiCN устанавливали в печь сопротивления, нагревали до 850-880 °С и затем производили заливку связующего сплава.

В качестве связующего сплава использовали чугун с содержанием С - 3,5-3,6%; Cr – 0,6%; Ni – 1,5%; Si – 0,45-0,55%; Mn – 0,3-0,4%, S и Р не более 0,1%. Чугун плавил в индукционной печи и выпускали при температуре 1500- 1510 °С. Заливку форм с нанопорошком производили сверху при температуре чугуна 1450-1460 °С.

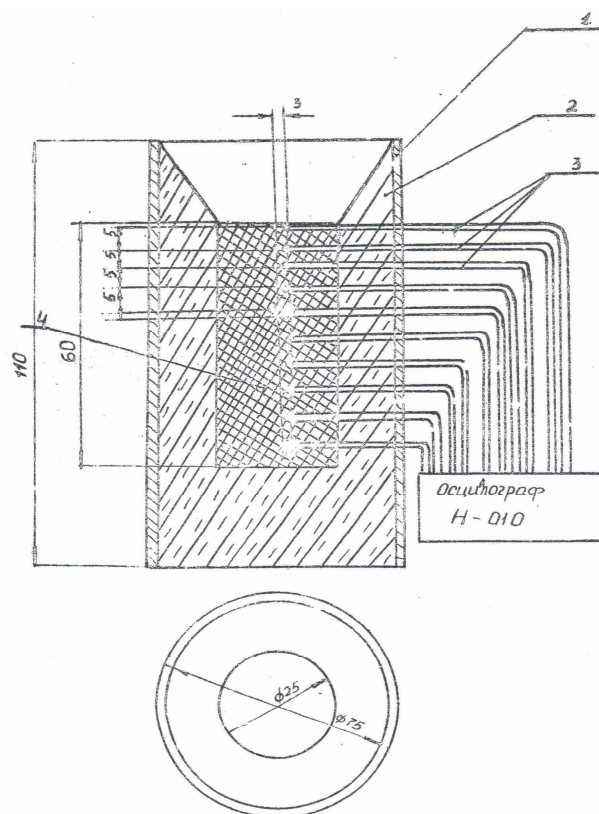


Рисунок 1 - Собранная форма для определения скорости пропитки:

1 – опока; 2 – формовочная смесь; 3 – термопары,
4 – нанопорошок TiCN

При достижении пропитывающим металлом уровня термопары, последняя показывала скачок температуры, который фиксировался на осциллограмме. Зависимость глубины пропитанного слоя от температуры и времени приведена на рис. 2. Видно, что с увеличением времени выдержки и уменьшением температуры глубина пропитанного слоя, являющейся главной технологической характеристикой, резко уменьшается. Уменьшается и скорость фильтрации связующего жидкого расплава в межзеренное пространство с увеличением пройденного пути и температуры рис. 3.

Формирование металлокерамического слоя при совмещенном процессе литья с пропиткой происходит в системе, состоящей из нанодисперсной твердой фазы и жидкого расплава. Так как размер частиц твердой фазы мал (менее 100 нм) и поры, пронизывающие слой нанопорошка имеют размер того же порядка, то система является капиллярной. Поэтому пропитываемый слой нанопорошка можно рассматривать как капиллярно-пористое тело.

Проникновение расплава в поры нанопорошка определяют два фактора – движущая сила (капиллярное и внешнее давление) и затвердевание расплава.

Самопроизвольная пропитка возможна в том случае, если процесс пропитки соответствует общим термодинамическим критериям направленности процессов и идет с убылью свободной энергии системы пористый слой – расплав, т.е. $\Delta F < 0$, где ΔF – изменение свободной энергии системы в результате пропитки.

Вследствие трудности экспериментального определения и теоретической оценки свободной энергии, для оценки процесса пропитки используют величину, доступную непосредственному измерению:

$$\cos \theta = \frac{y_{т-г} - y_{т-ж}}{y_{ж-г}} \quad (1)$$

где θ – угол смачивания, отсчитываемый со стороны жидкой фазы.

Угол смачивания количественно характеризует склонность расплава к растеканию в пористом теле. Самопроизвольно пропитка расплавом нанопорошка возможна при условии, что угол смачивания нанопорошка расплавом меньше 90° . Угол смачивания определяется не только по физико-химическим свойствам контактирующих веществ, но и зависит также от температуры расплава и пористого слоя, времени выдержки в контакте и других факторов.

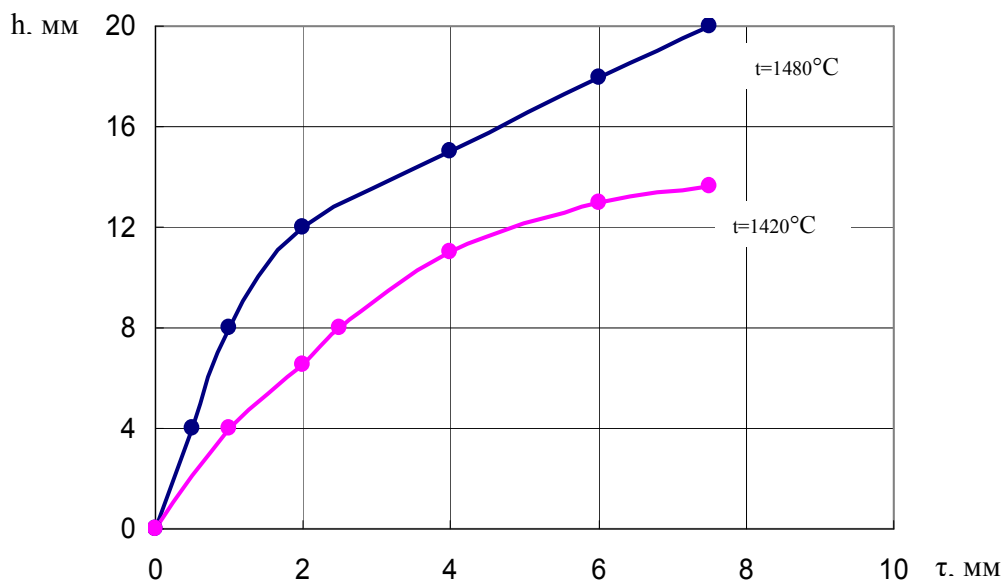


Рисунок 2 - Зависимость глубины пропитки и температуры заливаемого металла от времени выдержки расплава

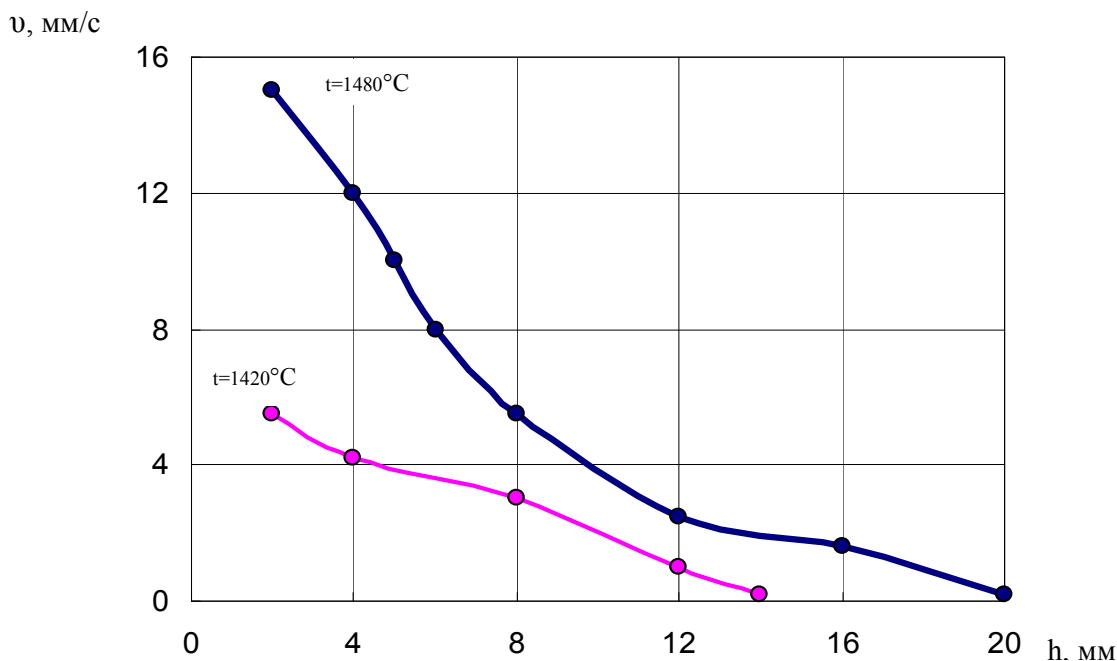


Рисунок 3 - Зависимость величины скорости пропитки и температуры заливаемого металла от глубины пропитанного слоя

По данным [5] процесс пропитки хорошо описывается уравнением:

$$L2 = \frac{y^* \cos \theta^* r}{2h} * c \quad (2)$$

где L – глубина пропитанного слоя;

σ – поверхностное натяжение жидкости на границе с газом;

r – средний радиус капилляров;

h – коэффициент динамической вязкости жидкости;

c – длительность пропитки;

θ – угол смачивания.

Уравнение справедливо для изотермических процессов, например, в порошковой металлургии, когда расплавление связующего сплава происходит на самом пористом теле. В условиях пропитки в литейной форме процесс идет в эндотермических условиях. Поэтому в результате фильтрации движущая жидкость теряет тепло и температура её понижается. Вместе с изменением температуры изменяются и другие физические свойства связующего расплава. С уменьшением температуры расплава увеличивается его поверхностное натяжение, угол смачивания и коэффициент динамической вязкости.

На основании формулы (2) напишем выражение для скорости пропитки v :

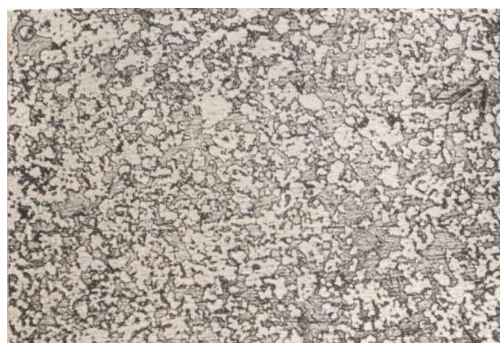
$$g = \frac{y^* \cos \theta^* r}{2h^* L} \quad (3)$$

Анализ показывает, что характер изменения скорости пропитки, по этой зависимости и полученный экспериментальным путем (рис. 2 и 3) одинаковый.

Были проведены металлографические исследования полученных образцов композитных сплавов состава TiCN – хромоникелевый чугун. Микроструктура композитного сплава на основе карбонитрида титана TiCN со связующим сплавом состава С - 3,44%; Cr – 0,5%; Ni – 1,4%; Si – 0,55%; Mn – 0,4% показана на рис.4. Видно, что графитные включения мелкие, в виде коротких пластин (рис. 4 а), структура состоит из мелких карбидов титана и мартенсита (рис.4 б).

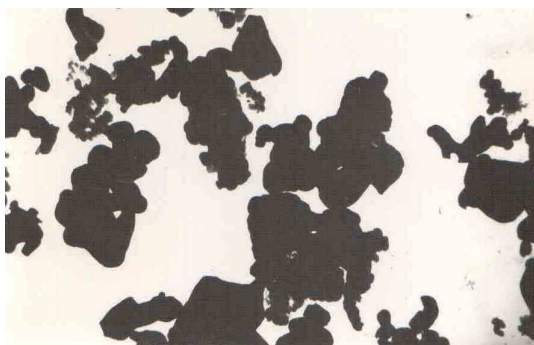


а)х500



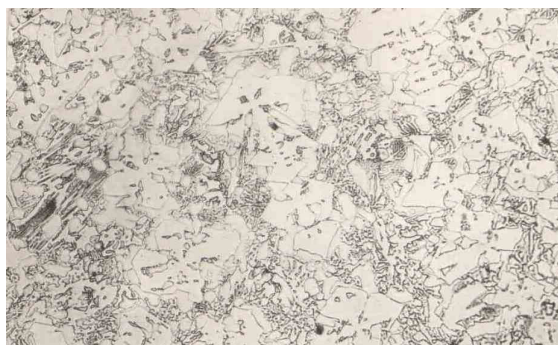
б)х500

Рисунок 4 - Микроструктура композитного сплава на основе карбонитрида титана



х10000

Рисунок 5 - Форма частиц нанопорошка карбонитрида титана



х500

Рисунок 6 - Микроструктура сплава с растворенным карбонитридом титана

Сравнение формы карбидов в композитном сплаве (рис.4б) и формы частиц в нанопорошке TiCN (рис.5), проведенном на электронном микроскопе, показывало, что карбонитрид титана при небольшом времени контакта с жидким расплавом (до 10с.), имеющем место при пропитке в литейной форме, практически не растворяется в металле-связке. Длительная же выдержка карбонитрида титана в контакте с жидким расплавом приводит к его растворению (рис.6).

Вывод

На основании проведенных исследований установлена кинетика образования композитного слоя на поверхности отливки, произведены замеры скорости фильтрации жидкого расплава в пористом слое легирующего вещества. Установлены зависимости глубины, времени и величины скорости пропитки от температуры заливаемого металла. Проведены металлографические исследования образцов композитных сплавов состава: TiCN – Cr – Ni чугуна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Термодинамика литейной формы /Вейник А.И.//Машиностроение, М.- 1968, № 1, С.79-144.
2. Взаимодействие железоуглеродистых расплавов с легирующими пастами / Соловьёв В.П., Михайлов А.М.// Черная металлургия – 1969, № 9, С.161-165.
3. Оборудование и технология получения ультрадисперсных модификаторов для обработки литейных расплавов /Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А. // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2004, № 3, С. 48-51.
4. Теория и практика модифицирования чугуна ультра- и нанодисперсными материалами /Калинин В.Т., Хрычиков В.Е., Кривошеев В.А., Меняйло Е.В. // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2010, № 5, С. 41-45.
5. Определение скорости проникновения оксидных расплавов в капиллярно-пористые материалы / Попель С.И.// Сб. «Поверхностные явления в расплавах и возникающих в них твердых фазах» - 1965, С.79-86.

Получено 09.10.2010г.

УДК 005.53

И.А. Корхина

ОБ УЧЕТЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ СРОКОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

Анотація. Визначено важливість обчислення найбільш вірогідною тривалості проекту при плануванні його реалізації. Описана імовірнісна імітаційна модель і основні результати проведених досліджень.

Ключові слова: тривалість проекту, невизначеність, імітаційна модель, сітьовий графік.

Введение

Планирование является важной функцией управления проектами. Оно позволяет определить длительность проекта, необходимое количество материальных, трудовых и финансовых ресурсов, а также определяет возможные угрозы и возможности проекта. Процесс планирования невозможно автоматизировать, так как зачастую могут возникать ситуации требующие пересмотра плана на определенном этапе, что может повлечь значительные изменения в нем.

К основным процессам планирования можно отнести планирование содержания проекта, оценку продолжительности работ, планирование ресурсов проекта, составление бюджета. Кроме этого в планирование включает идентификацию и оценку рисков, формирование команды проекта, а также планирование качества.

Одним из важных процессов планирования является процесс управления сроками проекта. Именно он отвечает за своевременное завершение проекта. Определение состава и операций, взаимосвязей между ними, оценка ресурсов и длительности каждой операции входят в процесс управления сроками проекта.

При управлении сроками проекта используется сетевое планирование. Сетевые модели отражают весь комплекс операций, необходимых для достижения целей проекта, в их логической и технологической последовательности. С помощью сетевых моделей осуществляют оптимизацию использования ресурсов проекта, календарное планирование работ, а также организацию управления и

контроля в ходе реализации проекта. В частности, сетевые модели используют для определения одной из важнейших характеристик проекта – длительности его выполнения.

В большинстве современных проектов невозможно точно определить время выполнения каждой работы, входящей в сетевой график, так как они несут в себе некую уникальность, то есть не имеют аналогов, и в связи с этим длительности выполнения ряда работ, а, следовательно, и всего проекта могут определяться со значительной ошибкой. Если учесть, что длительность проекта в значительной степени влияет на стоимость проекта, становится ясным, что использование сетевых моделей, учитывающих неопределенность в продолжительности работ, является на сегодняшний день актуальной задачей.

1. Анализ проблемы и метод ее решения

В настоящее время обычно для расчета выполнения длительности проекта используют известные длительности работ [1]. На самом деле в большинстве проектов эти величины точно не известны. Следовательно, длительность выполнения проекта так же неопределенная величина. Для учета этой неопределенности можно использовать два подхода к формализации неопределенных величин.

Первый основан на идеях нечеткой математики впервые предложенных Л.Заде, который в настоящее время бурно развивается. Из него вытекает, что неопределенные длительности работ следует рассматривать как нечеткие величины, заданные своими функциями принадлежности к соответствующим нечетким множествам.

Второй подход – традиционный. Он заключается в трактовке неопределенных величин как случайных. Как известно, случайные величины полностью задаются функциями распределения вероятностей. В настоящее время теория вероятностей, которая, в частности, изучает случайные величины, достаточно хорошо разработана и широко применяется для решения различных практических задач. Поэтому в последующих выкладках будем использовать в качестве математического аппарата теорию вероятности, а именно теорию случайных величин.

Однако существует ряд трудностей связанных с учетом случайности при определении длительности выполнения проекта.

Первая трудность связана с определением функций распределений длительностей отдельных работ, входящих в состав проекта. Как правило, статистика длительностей работ в проектных организациях не ведется, поэтому будем использовать традиционный подход, состоящий в том, что считается, что длительность проекта имеет бета-распределение [2] Его параметры можно однозначно задать тремя числами: оптимистическая, пессимистическая и наиболее вероятная. Для опытного руководителя такие числа достаточно просто указать.

Вторая трудность состоит в том, что критический путь будет меняться в зависимости от реализации случайных величин.

Вследствие указанных причин определить аналитическим путем длительности проекта достаточно сложно. Поэтому представляется перспективным для анализа сложных сетевых моделей с вероятностными продолжительностями работ использовать метод Монте-Карло. Он состоит в том, что осуществляется математическое моделирование множества вариантов продолжительностей работ. Это позволяет определить среднее значение продолжительности выполнения проекта, а также вероятность того, что значение критического пути не превысит заданного значения. Данный метод имеет и недостаток: необходимость генерации большого числа реализаций случайных величин (сотни и даже тысячи).

Однако, не смотря на указанный недостаток, метод Монте-Карло на наш взгляд является в настоящее время универсальным средством учета неопределенности в планировании проектных работ.

2. Описание имитационной модели и результатов расчетов по ней

Рассмотрим решение задачи определения длительности выполнения проекта с помощью вероятностной имитационной модели на примере проектирования отделения сушки и дробления сырьевых материалов цементного завода, в которой длительности работ считаются случайными, имеющими β -распределение (сетевой график показан на рис.1)

Для определения параметров β -распределения использовались пессимистическая, оптимистическая и наиболее вероятная оценки длительностей работ, которые давались проектировщиками.

Имитационная модель проекта, изображенного на рис.1 была реализована в среде MS Excel. В связи с тем, что генерация

случайных чисел, имеющих β -распределение не предусмотрена в данной среде, для их выработки использовался Mathcad 14. Схема вычислений была следующей.

Оценка характеристик β - распределения длительности: a_i (пессимистическая – максимальная длительность), b_i (наиболее вероятная длительность), c_i (оптимистическая – минимальная длительность).

Преобразование интервала изменения длительности i -й работы к отрезку

$$T_i = \frac{t_i - c_i}{a_i - c_i}, \quad (1)$$

где T_i - длительность i -й работы после преобразования, $T_i \in [0,1]$.

Вычисление наиболее вероятной длительности работы для интервала $[0,1]$ B_i по формуле (1), при $t_i = b_i$.

Вычисление параметров α и β β - распределения, приведенного к интервалу $[0,1]$

$$f(T_i) = \frac{1}{B(\alpha_i, \beta_i)} T_i^{\alpha_i-1} (1 - T_i)^{\beta_i-1}, \quad (2)$$

где $B(\alpha_i, \beta_i)$ - β -функция.

Неизвестные параметры распределения α_i и β_i найдем решив задачу оптимизации

$$\left(B_i - \frac{\alpha_i - 1}{\alpha_i + \beta_i - 2} \right)^2 \rightarrow \min, \quad \bar{T}_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i}, \quad (3)$$

где $\bar{T}_i$ - неизвестное среднее значение i -й работы, $\frac{\alpha_i - 1}{\alpha_i + \beta_i - 2}$ - мода распределения (2), $\frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i}$ - среднее значение распределения (2).

В задаче (3) оптимизация производится по переменным α_i , β_i , $\bar{T}_i$. Величина B_i в (3) известна (определена выше).

Генерация случайных чисел – реализаций случайных величин T_i , $i = 1, \dots, n$, где n - число работ в проекте.

Пересчет полученных последовательностей T_i , $i = 1, \dots, n$ к исходному масштабу по формуле (2): получения последовательностей t_i , $i = 1, \dots, n$.

Определение длительности критического пути по формуле $T = \sum_{j=1}^M \max_{i \in \Omega_j} t_i$ где M – количество этапов работ; j – номер этапа работы, на котором имеется множество Ω_j параллельных работ, в частном случае может быть $\Omega_j = 1$; i – номер работы; t_i – длительность i -й работы. $\Omega_j, j = 1, \dots, M, M = 4$

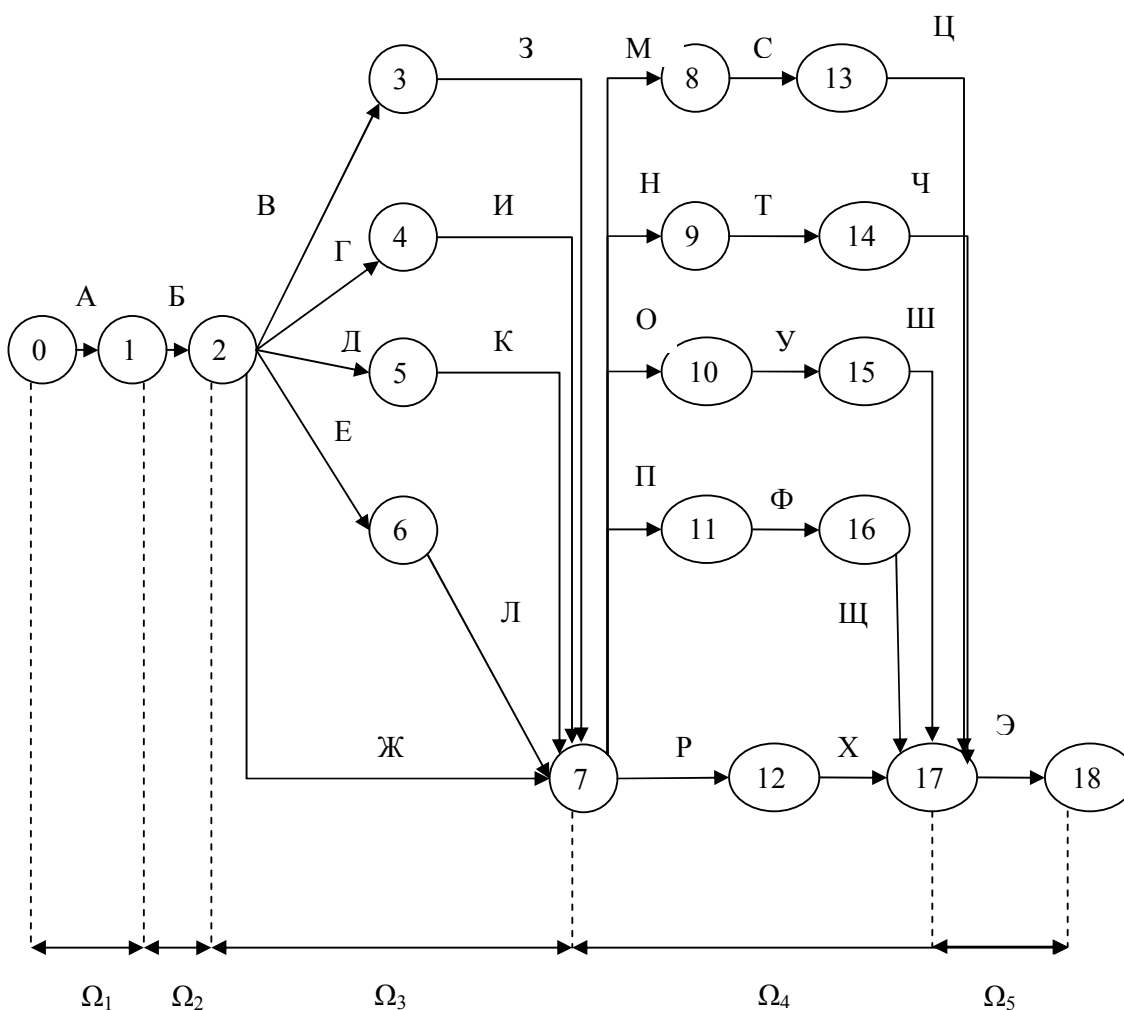


Рисунок 1 - Сетевая модель по проектированию отделения сушки и дробления сырьевых материалов цементного завода

Таблица 1

Работы проекта и их временные характеристики

Название работы	Номер работы i	Описание работы	a_i , дни	b_i , дни	c_i , дни
А	1	Разработка Генплана	2	3	4
Б	2	разработка технологических решений	1	2	3
В	3	расчет и конструирование металлических конструкций	6	7	8
Г	4	проектирование вентиляции здания	4	5	6
Д	5	проектирование наружные водопроводные и канализационные сети	6	7	8
Е	6	подбор электрооборудования для здания	4	5	6
Ж	7	конструктивно-планировочное решение здания	7	8	9
З	8	работы ожидания	0	0	0
И	9	работы ожидания	0	0	0
К	10	работы ожидания	0	0	0
Л	11	работы ожидания	0	0	0
М	12	разработка и расчет металлоконструкций по заданию архитекторов	1	2	3
Н	13	проектирование вентиляции здания и крепление воздуховодов по заданию архитекторов	3	3,5	4
О	14	проектирование внутренних сетей водопровода и канализации	1	2	3
П	15	проектирование размещения электрооборудования в цеху по заданию архитекторов	2	3	4
Р	16	расчет и проектирование железобетонных конструкций	3	4	5
С	17	проектирование размещение металла в железобетоне	17	20	23
Т	18	проектирование проемов в перекрытии для сантехнического оборудования и водоснабжения	17	20	23
У	19	проектирование проемов в перекрытиях и стенах для вентиляции цеха	17	20	23
Ф	20	проектирование железобетонных конструкций для установки электрического оборудования	17	20	23
Х	21	составление и расчет сметной стоимости архитектурных работ	2	3	4
Ц	22	составление и расчет сметной стоимости железобетонных конструкций	2	3	4
Ч	23	составление и расчет сметной стоимости вентиляционного оборудования и его установки	2	3	4
Ш	24	составление и расчет сметной стоимости водопроводных труб и сантехники	2	3	4
Щ	25	составление и расчет сметной стоимости электрического оборудования	2	3	4
Э	26	выдача документации в архив, размножение и отправка документации заказчику	1	2	3

Были сгенерированы последовательности из $N = 200$ реализаций случайных величин – длительностей выполнения работ. Для каждой реализации длительностей выполнения работ находилась длительность выполнения проекта. Таким образом, было получено 200 реализаций критического пути.

С помощью инструмента Анализа данных/Описательная статистика были найдены основные характеристики данной совокупности случайных чисел. С помощью функции ПЕРСЕНТИЛЬ найдено такое значение длительности критического пути, которое с вероятностью 95% не будет превышено.

Гипотеза о том, что длительность выполнения проекта подчиняется β -распределению, была отвергнута в виду значимого расхождения между указанным распределением и результатами моделирования. Тогда была рассмотрена гипотеза о их соответствии нормальному закону.

Для подтверждения этой гипотезы была проведена проверка на нормальность распределения длительности критического пути с помощью критерия Пирсона.

По критерию χ^2 она была принята с высоким уровнем значимости $p=0,88$ о том, что распределение длительности выполнения проекта имеет нормальное распределение. Это позволило определить квантили этого распределения порядка 0,95 и 0,9. Они имеют смысл величин, которые с вероятностью 0,95 и 0,9 не превысит длительность выполнения проекта.

Выводы

В данной работе рассмотрен один из важных процессов в управлении проектами – планирование. Планирование сроков проекта сталкивается с проблемой неопределенности, так как по многим причинам продолжительность работ по проекту является случайной величиной. Кратко были описаны существующие подходы к формализации неопределенных величин.

На примере работ по проектированию отделения сушки и дробления сырьевых материалов цементного завода была разработана вероятностная имитационная модель, которая позволила определить такой конечный срок реализации проекта, который с большой вероятностью (95%) не будет превышен. Кроме этого, с помощью проведенных исследований, было доказано, что длительность всего

проекта подчиняется нормальному распределению, хотя работы, входящие в проект, имеют β - распределение.

В результате выполнения работы показано, что можно учесть неопределенность сроков выполнения проектов, используя имитационную модель проекта. Тем самым можно учесть риски, связанные с выполнением проекта в целом и его частей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление проектом. Основы проектного управления: учеб./ под ред. М.Л. Разу. – М.: КНОРУС, 2010. – 768с.
2. Миллер Р. ПЕРТ – система управления. Пер. с англ. – М.: Экономика, 1965. – 202с.

Получено 12.10.2010г.

УДК 620.17

Ремзи Варол, Х.А. Аскеров, Бюлент Курт

**ВЛИЯНИЕ КАРБОНИТРИДОВ ВАНАДИЯ И НИОБИЯ НА
СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ**

В последнее десятилетие были разработаны новые низколегированные высокопрочные стали с пониженным ($< 0,10\%$) содержанием углерода, основными преимуществами которых по сравнению с обычными конструкционными и строительными сталями являются высокая свариваемость и пластичность [1, 2].

Использование преимуществ сталей с малым содержанием перлита оказалось возможным благодаря тому, что предел текучести и временное сопротивление могут быть повышены (несмотря на низкое содержание углерода) до достаточно высокого уровня путем упрочнения малыми добавками карбонитридообразующих элементов (ниобия, ванадия, титана, азота). Дисперсионное упрочнение ведет к значительному повышению прочности, но одновременно снижается ударная вязкость. Однако в результате использования указанных элементов удалось совместить дисперсионное твердение с измельчением зерна. Эффективность влияния этих элементов зависит от растворимости их карбонитридов в аустените, что при последующем охлаждении определяет количество и дисперсность упрочняющей фазы [3].

Свойства сталей в значительной степени определяются составом, размером, формой и характером распределения карбидной фазы. Так как ванадий сильно влияет на карбидные превращения в стали, то он существенно влияет и на ее физико-механические свойства. Основным достоинством применения для легированных сталей, особенно строительных является их способность к упрочнению. Кроме ванадия для упрочнения малоуглеродистых сталей применяют небольшие добавки ниобия. Однако эффективность упрочнения стали ванадием значительно дешевле и менее дефицитен, чем ниобий. Одно из наиболее ценных качеств ванадия как

легирующего элемента в стали – его способность измельчать зерно [4]. Применительно к стали соединения ванадия с железом, углеродом, азотом и тройные : железо-углерод-ванадий, железо-азот-ванадий и железо-легирующий элемент-ванадий представляют интерес. Ванадий – сильный карбидообразующий и нитридообразующий элемент. Образованные им карбиды и нитриды являются фазами внедрения. В литературе можно встретить ссылки на следующие карбиды в системе ванадий-углерод : V_5C (4,5% C) ; V_2C (10,54 % C) ; V_4C_3 (15,02% C) ; VC (19,08% C); V_2C_3 (26,12% C). Однако при исследовании стали наиболее часто упоминаются только карбиды VC и V_4C_3 .

При нагреве стали для термической обработки карбиды или нитриды ванадия могут растворяться в аустените или оставаться нерастворенными. От этого зависят многие свойства термической обработанной стали: закаливаемость, прокаливаемость, устойчивость против отпуска, износостойкость и др. Растворимость карбида ванадия в аустените в зависимости от температуры нагрева зависит от соотношения углерода и ванадия, т.е. количества карбида ванадия. При медленном нагреве стали со структурой феррита - карбидной смеси переход через критическую точку вызывает образование мелкого зерна аустенита.

Металлургической промышленностью освоен выпуск ряда марок сталей подвергаемых контролируемой прокатке на станах 3000 и 3600 металлургических комбинатов имени Ильича и «Азовсталь».

Химический состав и механические свойства листов из малоperlитных сталей, изготавливаемых с применением контролируемой прокатки показаны в таблицах [1,2].

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей

МАРКА СТАЛИ	C	Mn	Si	S	P	Al	V	Nb
09Г2ФБ	0,09	1,70	0,35	0,010	0,02	0,05	0,09	0,05
10Г2ФБ	0,12	1,75	0,35	0,006	0,02	0,05	0,012	0,04

Таблица 2

Механические свойства листов из малоперлитных сталей

МАРКА СТАЛИ	σ_B Н/мм ²	σ_T Н/мм ²	δ %	КСУ	КСV
				Дж/см ²	
09Г2ФБ	550	450	22	59	88
10Г2ФБ	588	460	22	64	88

Введение ванадия и ниобия в строительные стали прежде всего повышает их прочность и упругие свойства (отношение σ_T / σ_B), такое влияние этих элементов обусловлено дисперсионным твердением в результате выделения мелкодисперсных карбидов ванадия при $\gamma - \sigma$ превращениях или при высокотемпературном отпуске закаленной стали. Получение в строительных сталях с ванадием и ниобием повышенной прочности после высокотемпературного отпуска – одно из основных преимуществ этих сталей. Отпуск при более высокой температуре дает возможность получить в стальных изделиях детали с минимальными остаточными внутренними напряжениями, что часто очень важно для надежности и высокой эксплуатационной стойкости стальных строительных конструкций.

Существенное влияние ванадия и ниобия на повышение устойчивости против отпуска связано с замедлением распада мартенсита – пересыщенного твердого α – раствора, задержкой выделения углерода из него и образованием высокодисперсных карбидов ванадия и ниобия, вызывающих дисперсионное твердение. Мартенсит, содержащий растворённые карбидообразующие элементы, сохраняет повышенное содержание углерода.

Чем выше карбидообразующая способность элемента, тем больше количество углерода задерживается в растворе α . При повышении температуры отпуска α раствор обедняется карбидообразующим элементом и из него выделяется избыточный углерод в виде второй порции карбида.

Закаленная сталь, в которой карбид ванадия при нагреве под закалку перешёл в твердый раствор, при отпуске разупрочняется меньше, чем сталь без ванадия. Чем больше карбида ванадия в стали и чем больше его переходит в твердый раствор, тем более устойчива сталь против отпуска. Если карбид ванадия не растворяется в

Особый интерес вызывает малоперлитная сталь 09Г2ФБ, высокие прочностные свойства которой обеспечивается созданием мелкозеренной ферритной структуры в результате контролируемой прокатки [6].



Рисунок 1 - Микроструктура стали 09Г2ФБ после контролируемой прокатки

В ряде работ [7,8] установлено, что при снижении температуры аустенитизации с 1250 до 1050 ... ферритное зерно измельчается на 0,5 – 1 балл. Кроме того, для увеличения измельчения зерна аустенита деформация при горячей прокатке должна носить убывающий характер с преобладанием степени деформаций (до 50%) в аустенитной области. Дальнейшее измельчение зерна

обеспечивается при снижении температуры контролируемой прокатки от 1000 до 700.



а – дислокации в феррите; б – карбидные выделения.

Рисунок 2 - Микроструктура стали 09Г2ФБ после контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением

Регулирование температурно-деформационного режима обработки позволяет контролировать выделение дисперсных фаз карбонитридов, что способствует измельчению зерна феррита и получению развитой субструктуры с повышенной плотностью дислокаций [9]. Повышение прочности и сопротивления разрушению в игольчатом феррите, вероятно, можно объяснить тем, что прочность сплава регулируется размером субструктурных единиц, которые зависят от температуры превращения.

Таким образом, достижения в области создания сталей с высоким комплексом механических свойств позволяет при строительстве стальных конструкций снизить металлоёмкость. С этой точки зрения наиболее приемлемыми являются малоperlитные мелкозернистые стали с добавками ниобия и ванадия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. М., 1982. 184с
2. Ю.И. Матросов, Н.И. Карчевская и др. Карбонитриды ниобия и ванадия в малоperlитных сталях. Известия АН СССР : Металлы. 1975. №3. с. 151-155.
3. Большаков В.И., Монгайт И.А. Закалка с прокатного нагрева малоperlитной стали с ниобием и ванадием. // Металловедение и термическая обработка металлов. М. 1983, №2 с.42-44.
4. Большаков В.И., Аскеров Х.А. Карбидообразование и упрочнение строительных сталей с ванадием. // Перспективные задачи инженерной науки. GAUDEMUS, 2001, Днепропетровск, с 115.
5. И.Н. Голиков, М.И. Гольдштейн, И.И. Мурзин. Ванадий в стали. М. Металлургия, 1968 с.291.
6. Большаков В.И., Монгайт И.А. Исследование тонкой структуры закаленной стали с ниобием и ванадием после контролируемой прокатки. – Известия вузов. Черная металлургия, 1983, №7, с. 102-106.
7. Большаков В.И. Разработка теоретических основ и внедрение процессов субструктурного упрочнения строительных сталей с целью повышения их эксплуатационных свойств. – Диссертация на соискание уч. степени доктора техн. наук, - Днепропетровск 1985, - 450 с.
8. Большаков В.И., Стародубов К.Ф., Тылкин М.А. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности, - М: Металлургия, 1977.-200 с.
9. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. – М : Металлургия, 1983.-460

Получено 16.10.2010г.

УДК 004.031.42, 621.391, 65.012.122

А.В. Калмыков, Л.С. Смидович

АДАПТАЦИЯ НОТАЦИИ BPMN К БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. Рассматриваются вопросы создания «бесшовной» технологии проектирования, моделирования и внедрения автоматизированных бизнес-процессов (БП). Предложены направления адаптации BPMN для БП телекоммуникационного предприятия. Сформулированы требования к системам сопровождения БП.

Ключевые слова: бизнес-процесс, BPMN, моделирование, «бесшовная» технология.

Введение

В настоящее время успех деятельности любой компании связывают не только с продуктивными производственными процессами, но и с уровнем эффективности процедур обеспечения и управления, т.е. эффективностью бизнес процессов. Наука о менеджменте предприятий значительное внимание уделяет оптимизации бизнес-процессов (БП). Как правило, предлагаемые подходы к данным вопросам предполагают последовательное выполнение нескольких этапов исследования: сбор требований, моделирование, подготовка рекомендаций по изменениям, реализация подсистем сопровождения БП [1,2]. Существующие методологии анализа и проектирования БП обычно возлагают на человека-эксперта задачи подготовки, интерпретации и переноса данных между стадиями исследования. Например, сбор требований – моделирование, моделирование – реализация ПО сопровождения БП. Соответственно, такие разрывы увеличивают трудоёмкость исследований, повышают вероятность технических ошибок. Поэтому современное развитие методологий оптимизации БП направлено на создание «бесшовной» технологии, обеспечивающей «сквозную» целостность и прозрачность данных на всех этапах: от сбора требований до создания систем сопровождения.

Формулировка задачи исследования

Задача разработки универсальной методики исследования и проектирования БП любого предприятия, любой отрасли является сложной и противоречивой. Исходя из этого, на текущем этапе развития методологии проектирования БП предпочтительно рассмотреть данную проблему в контексте отдельной отрасли, введя некоторые ограничения, присущие рассматриваемой сфере деятельности. Кроме того, процесс проектирования, внедрения БП является объёмной задачей, поэтому его целесообразно разделить на последовательно рассматриваемые составляющие: сбор информации, описание-проектирование, моделирование, реализация. Например, на этапе сбора требований, описания и разработки БП, проектировщики сталкиваются со значительными трудностями в вопросах интерпретации и согласования информации с заказчиком ввиду сложности и неоднозначности существующих подходов к описанию БП, присутствия субъективной трансляции данных от системы проектирования БП к заказчику и наоборот.

Исходя из вышесказанного, в рамках данной статьи авторами поставлена задача определения принципов построения и требований к системе сопровождения БП (ССБП), которая должна, с одной стороны, снизить барьеры между заказчиком и проектировщиком, а с другой стороны, позволить прозрачно, без каких-либо корректировок, перейти от проектирования БП к его непосредственному внедрению и использованию в производственной деятельности предприятия. В качестве объекта такого исследования выбрано предприятия телекоммуникационной отрасли, специфика которой хорошо знакома авторам.

Особенности бизнес процессов в телекоммуникациях

В отличие от производственных или торговых предприятий, для которых БП являются сопроводительными, в сфере информационных услуг, в том числе и в телекоммуникациях, БП определяют характер и течение основной деятельности. Объектом управления здесь являются не материальные ресурсы и товары, необходимые для производства продукции или услуг, а потоки информации. Деятельность провайдеров и операторов телекоммуникаций ориентирована на предоставление услуг конечным

пользователям посредством управления составляющими этих услуг и ресурсами.

Сфера деятельности предъявляет к БП некоторые специфические требования и ограничения:

- отрасль характеризуется высокой степенью информатизации, что делает малоэффективным использование «бумажной» регламентации БП, а с другой стороны является предпосылкой их автоматизации;

- БП телекоммуникаций требуют постоянной корректировки по причинам развития технологий, высокой изменчивости и короткого жизненного цикла услуг, а так же высокой конкуренции и изменения рыночной ситуации;

- большие объёмы информационного обмена между службами предприятия, вовлечение в БП большого количества индивидуальных исполнителей, взаимодействующих, как правило, удалённо и не синхронно во времени, использующих несколько различных ИС;

- большая продолжительность некоторых ключевых БП, например от нескольких часов до нескольких недель;

- значительное влияние субъективного (человеческого) фактора на реализацию БП, например, определение непосредственными исполнителями последовательности выполнения операций.

Перечисленные особенности позволяют сформулировать такие желаемые характеристики методики исследования и проектирования бизнес-процессов в телекоммуникациях:

- прозрачное описание БП, понятное не только специалистам в отрасли бизнес-инжиниринга, но и представителям заказчика;

- быстрое согласование изменений в спецификациях БП;

- моделирование «на лету» полученного описания БП, с целью проверки на корректность;

- автоматизированная трансляция корректной согласованной модели БП в исполняемый код или описание для ССБП.

Реализовать вышеприведенные требования на основе существующих методологий возможно лишь частично и при условии введения некоторых ограничений. Рассмотрим этот вопрос подробно.

Существующие подходы описания бизнес процессов и их недостатки

Таксономия БП в сфере телекоммуникаций описана в стандарте eTom [3], который определяет структуру бизнес-процессов, используя их иерархическую декомпозицию. Определяются описания процессов, их взаимоотношения, и другие ключевые элементы, при этом учитываются специфичные для телекоммуникационной отрасли аспекты независимо от организационных, технологических и других особенностей отдельных компаний. На верхнем уровне модели eTom выделяются три основные группы бизнес-процессов: "Стратегия, инфраструктура и продукт" (определение стратегии и управление жизненным циклом инфраструктуры и продукта), "Операционные процессы" (основные процессы по предоставлению, поддержке и биллингу услуг) и "Управление предприятием" (общие процессы поддержки деятельности компании). Стандарт eTom, по сути, является референтной моделью и может использоваться только для укрупнённого анализа БП коммуникационной компании, определения облика БП верхнего уровня.

Для более детальных исследований разработан ряд методологий моделирования и нотаций бизнес-процессов (БП). Ставшие классическими IDEF3, ARIS eEPC и др. [1,2,4] предназначены для описания существующих («as is») БП с целью их анализа, реорганизации и проектирования оптимальных («to be») БП:

- нотация IDEF3 была разработана с целью более удобного описания рабочих процессов (Work Flow), для которых важно отразить логическую последовательность выполнения процедур, для чего, так же как и в нотации ARIS eEPC, используются символы логики, отражающие ветвление процесса, связь с организационной структурой может задаваться с помощью комментариев;

- нотация ARIS eEPC (Extended Event Driven Process Chain) – расширенная нотация описания цепочки процесса, управляемого событиями, фактически является расширением достаточно простой нотации IDEF3, имеется объект «организационная единица»;

- BPMN (Business Process Modeling Notation) [5] - спецификация, содержащая графическую нотацию описания бизнес-процессов на диаграммах, называемых BPD (Business Process

Diagram, что дословно переводится просто как "диаграмма бизнес-процессов"). Моделирование организационной структуры не является предметом рассмотрения BPMN, связь с сущностями других моделей (в том числе моделью оргструктуры) осуществляется через репозиторий.

Данные подходы предназначены в первую очередь для описания БП с целью их анализа и реорганизации [4], но не для непосредственного внедрения в ССБП. В частности, в большинстве моделей отсутствуют формальные средства для описания связи элементов БП с организационной структурой.

В то же время, BPMN становится фактическим стандартом для моделирования БП [6, 7]. Несомненно, важным аргументом для этого является разработка правил автоматической трансляции описаний БП в формате BPMN в XML-подобный код WS_BPEL(BPEL4WS), что позволяет перейти к непосредственному решению задачи событийного или имитационного моделирования БП. К сожалению, в общем виде данная задача не решена, как и задача обратной трансляции из WS_BPEL в BPMN [8,9], что значительно осложняет процедуры отладки моделей БП, оперативного внесения изменений в них. Кроме того, трансляция модели в промежуточный формат всегда несёт риск внесения в неё необратимых и некорректируемых изменений.

Необходимо отметить, что WS_BPEL фактически является средством интеграции и оркестровки веб-сервисов, и, следовательно, пригоден в первую очередь для реализации автоматических БП, выполняющихся без участия человека. Это ограничение частично сняты в стандартах BPEL4People и WS-Human Task [10,11], в которых вводятся такие базовые понятия, как пользовательские роли, делегирование полномочий, приоритеты задач, контрольные сроки и пр. В BPMN для элементов Activity используется атрибут Performer, описывающий (возможных) исполнителей работы.

Таким образом, можно полагать, что перспективным является подход, основанный на непосредственном исполнении моделей (WYMWYE – What you model is what you execute) без трансляции в промежуточный код на основе нотации BPMN, расширенной средствами описания организационной структуры.

Перспективные направления развития модели БП и адаптация BPMN

Полноценная реализация интерпретатора BPMN является, с одной стороны, непростой технологической задачей, с другой стороны, чрезмерная перегруженность спецификации разными типами объектов усложняет воспринимаемость моделей БП. В связи с этим, целесообразно ограничить область исследования и определить типовые требования к моделям таких БП телекоммуникаций.

В первую очередь объектом исследования и последующей оптимизации являются операционные БП. Это объясняется их массовостью, регулярностью, а так же ключевой ролью в решении задач, стоящих перед оператором связи (провайдером). Поэтому ограничимся в рамках данного исследования операционными БП в сфере телекоммуникаций.

К операционным БП телекоммуникационной компании относятся процессы, как:

- регистрации абонентов и заявок на подключение;
- подключения услуг различных видов;
- изменения и отключения услуг;
- управления качеством услуг, регистрации и устранении неисправностей.

Корректная модель БП должна давать ответы на вопросы:

- какие работы (процедуры) составляют БП?;
- какой порядок и условия выполнения работ, определяющие необходимость той или иной работы?;
- кто является исполнителем работ БП?;
- какая информационная системы компании используется при выполнении той или иной работы?

Исходя из опыта описания реальных БП телекоммуникационных компаний, необходимыми являются также следующие возможности модели:

- декомпозиция активностей, составляющих БП, на отдельные схемы бизнес-процесса более низкого уровня (см. Рис. 1, а). Это требование вызвано необходимостью ограничить сложность схем БП. Кроме того, использование подпроцессов позволяет реализовать принцип модульности, описывая повторяющиеся элементы одного или разных БП как работу-подпроцесс;

– описание связей элементов БП с элементами организационной структуры компании. Под отношениями понимается не только закрепление работ за исполнителем (группой исполнителей), но и коммуникации в ходе выполнения, например, отправка уведомлений о том, что операция запланирована или завершена, права на передачу (диспетчеризацию) данной работу другому исполнителю;

– описание частично определённых (Ad-Нос или спонтанных) БП, для случая, если известен набор активностей (работ), но их порядок определяется исполнителями либо владельцем процесса непосредственно перед исполнением (см. рис.1).

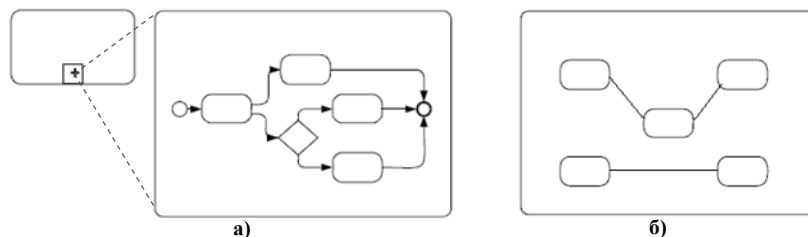


Рисунок 1 – а) декомпозиция элементов БП вышестоящего уровня на БП нижестоящего уровня; б) Ad-Нос (спонтанные), частично определённые процессы

Для реализации непосредственного исполнения модели БП в ССБП последняя должна допускать только единственную интерпретацию хода выполнения работ. Однако существующая спецификация BPM не предполагает обязательного анализа статуса работы (выполнена/не выполнена/отложена) в явном виде, что ведёт к неоднозначности понимания моделей. Элемент ExceptionFlow позволяет описывать только нештатное завершение работы, и не может быть использован для корректного описания БП, предусматривающего условное ветвление в зависимости от статуса завершения работы. В этом случае, за каждой работой должен явно указываться элемент Gateway, либо использоваться условный переход (Conditional Sequence Flow). Такие конструкции загромождают описание БП, делают его нечитабельным, поэтому, как правило, на диаграммах работа связывают со следующей активностью только одной связью, которая может трактоваться двояко:

– переход должен выполняться независимо от результата выполнения работы;

– переход выполняется только при успешном завершении работы.

В этом случае при отсутствии описания нештатной цепочки работ ExceptionFlow модель БП будет неполной и некорректной.

Например, на рис. 2 в фрагменте диаграммы BPMN явно указаны действия в случае успеха и не успеха выполнения работы «Test Product», действия в случае неуспеха работы «Configure Product» не очевидны.

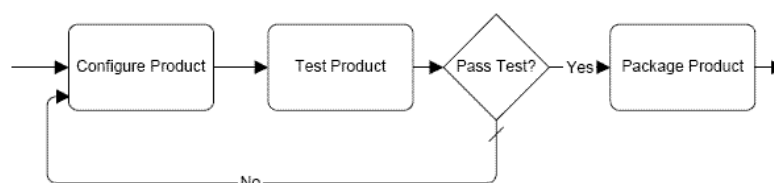


Рисунок 2 – Пример диаграммы БП в нотации BPM

Опыт реального моделирования и внедрения БП показывает, что корректная модель БП должна содержать исчерпывающее описание возможных исходов каждой работы. Поэтому предлагается в явном виде отображать ход БП в зависимости от результата завершения работы. Безусловный переход (один или несколько) (см. рис. 3, а) означает переход, выполняемый при успешном завершении работы, в случае неуспеха возникает исключительная ситуация. Для нескольких вариантов завершения работы соответствующие условные переходы должны содержать условия их активации (рис. 3, б) – условный переход «по умолчанию» – в случае успеха, переход «по условию» – при соответствующем результате завершения активности.

При таком подходе активности типа «условие», по сути, представляют собой автоматические работы, завершающиеся с успехом, если условие истинно, и с не успехом – если ложно.

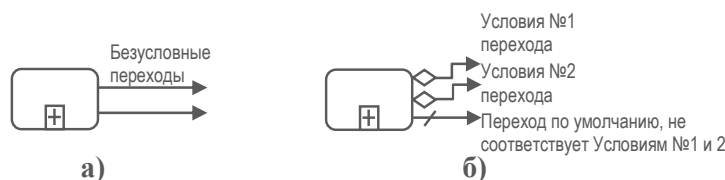
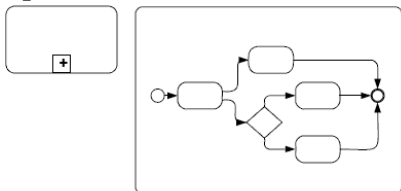
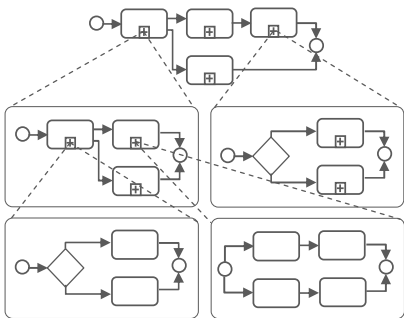


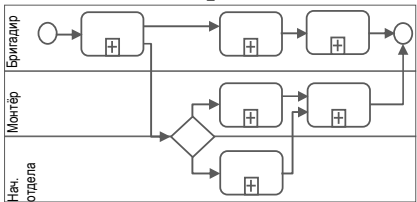
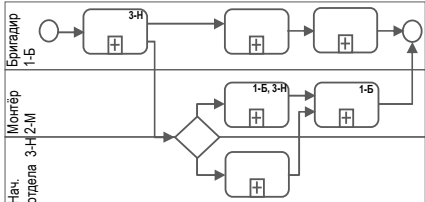
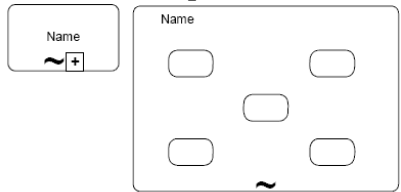
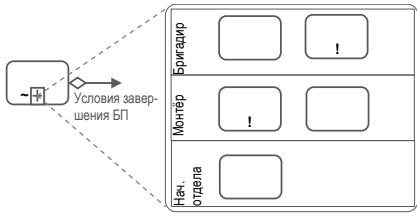
Рисунок 3 – Условный переход при завершении работы

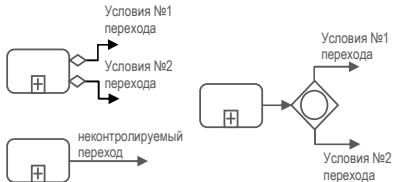
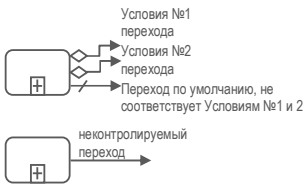
Резюмируя вышесказанное, сформулируем видение перспективных направлений адаптации спецификации BPMN в рамках развития «бесшовной» технологии проектирования и внедрения БП (см. Табл.1).

Таблица 1

Адаптация BPMN для «бесшовного» проектирования и внедрения БП

Перспективные направления	Существующие элементы BPMN нотации	Предлагаемая адаптация BPMN нотации
Поддержка описания вложенных иерархических БП.	Элемент Sub-Process не предназначен для корректного описания вложенных иерархических процессов, т.к. не обеспечивает полноценную поддержку элементов Pool и Lane и не позволяет описать исполнителей для процессов. 	Многоуровневое представление БП в соответствие с иерархией организационной структуры. Строгое соблюдение принципа формирования диаграмм БП из исполнителей одного уровня организационной иерархии, например: - уровень 1 – отделы (цеха); - уровень 2 – сектора (участки); - уровень 3 – рабочие места (отдельные исполнители). Каждая активность вышестоящего уровня является БП, состоящим из активностей нижестоящего уровня. 
Формализованное описание связей с организационной системой, допускающее их трансляцию в потоки заданий и информационных сообщений для	Для описания субъектов взаимодействия используется элемент Pool, при этом с каждым из участников связывается свой БП. Как правило, этот механизм используется для описания внешних партнёров. В рамках одного участника взаимодействия могут определяться исполнители – элемент	Дополнение элементов Pool, Lane. Расположение активности на элементе Lane определяет основного (главного) исполнителя. Второстепенные исполнители (дублёры, контролёры, и т.п.) указываются ссылочно. Каждому исполнителю присваивается буквенно-цифровое обозначение,

Перспективные направления	Существующие элементы BPMN нотации	Предлагаемая адаптация BPMN нотации
элементов орг.структуры.	Lane. Размещение активности на этом элементе связывает его с соответствующим элементом орг. структуры. Ограничение - активность может принадлежать только одному элементу Lane, т.е. невозможно назначить несколько исполнителей (групп исполнителей) одной работе. У объекта активность есть атрибут Performers, который описывает исполнителей данной работы, однако он не имеет наглядного представления. 	которое указывается после стандартного обозначения исполнителя в элементе Lane (предпочтительный порядок – по возрастанию номеров диаграмм, сверху вниз внутри диаграммы). В объекте Activity в правом верхнем углу показывается список буквенно-цифровых обозначений второстепенных исполнителей. При этом второстепенный исполнитель на объекте Lane может быть показан на других диаграммах. 
Поддержка динамического выбора последовательности работ в БП при отсутствии технологических и административных ограничений на порядок их выполнения.	Ad-Нос (спонтанные) процессы. Исполнители сами определяют порядок выполнения и состав активностей. Частично определённые процессы могут описываться как спонтанный процесс, объединяющий подпроцессы или работы. Условия завершения процесса определяется атрибутом CompletionCondition, который не имеет наглядного представления. 	Визуализация условий завершения Ad-Нос процесса следующими способами: Определение активностей внутри БП, обязательных к исполнению знаком «!» в нижней средней части объекта. Обязательное указание условий завершения БП обозначением условного перехода для объекта Collapsed Ad-Hoc Sub-Proces. 
Формализованное представление работы БП как	Описание при помощи специальных обозначений условного перехода Conditional flow или элемента	Описание при помощи обозначений условного перехода и перехода по умолчанию. Допускается:

Перспективные направления	Существующие элементы BPMN нотации	Предлагаемая адаптация BPMN нотации
совокупности отдельной активности и условных связей с последующими работами, активизируемыми в зависимости от результатов.	Ga-teway. В трактовке BPMN допускается неполное описание вариантов перехода при завершении процесса при помощи обозначения Un-controlled flow, что трактуется как переход при любом варианте завершения активности. 	либо только комбинация условных переходов Conditional flow и перехода по умолчанию Default flow либо только неконтролируемый переход Uncontrolled flow. 

Требования к системе сопровождения БП

Перспективные направления развития модели БП в рамках нотации BPMN являются своего рода декларацией о намерениях, реализация которых в значительной мере зависит от характеристик и возможностей системы ССБП. Типовая ССБП производственной компании призвана решать такие основные задачи:

- планирование потока работ при выполнении экземпляров операционных БП;
- диспетчеризация работ;
- мониторинг выполнения БП;
- подготовка консолидированной информации и аналитики о количественных и качественных параметрах (время, соотношение успешных и неуспешных операций, причины) выполняемых БП в разрезах отдельных задач, работ, исполнителей.

Выше была показана целесообразность создания бесшовной технологии реализации БП на всех этапах: от сбора требований до фактического исполнения в ССБП. Внедрение такой методики требует, чтобы ССПБ решала некоторые задачи проектирования БП:

- подготовка описания БП в виде наглядных схем;
- отладка и моделирование исполнения БП с использованием тестовых и реальных данных.

Определение задач позволяет сформулировать функциональные требования, предъявляемые к ССБП:

- описание бизнес-процессов в BPMN-совместимой нотации средствами самой системы;
- прозрачность и управляемость процессов: отображение текущего состояния БП (выполненных работ с указанием исполнителя, запланированных к выполнению работ), возможность назначения непосредственного исполнителя работы (из группы исполнителей), возможность назначения диапазона времени исполнения работы (в пределах нормативного срока), приостановка и возобновление БП;
- автоматическая эскалация процессов и диспетчеризация работ в соответствии с моделью БП, уведомление исполнителей и ответственных о поступивших или выполненных работах;
- маршрутизация не полностью определённых процессов их исполнителями в процессе выполнения процесса;
- динамическое создание экземпляра процесса при его выполнении: экземпляры активностей создаются (планируются) динамически с учётом статуса завершения предыдущих работ, значений глобальных переменных процесса и других условий;
- возможность управления ходом БП, назначения и изменения приоритетов работ, делегирование полномочий, назначения и смены исполнителей работ;
- интеграция с ИКС компании с учётом того, что во многих случаях операция БП сводится к внесению каких-либо данных в одну из корпоративных ИКС;
- контроль исполнительской дисциплины и соблюдения нормативных сроков;
- аналитические отчёты (время выполнения различных работ, загрузка сотрудников, статистика возвратов и отказов и пр.).

Заключение

Показанные направления адаптации BPM нотации основаны на практическом опыте проектирования и моделирования БП в деятельности телекоммуникационных предприятий и сформулированы в контексте создания «бесшовной» методологии проектирования, моделирования БП и внедрения в ИКС предприятий. Основное внимание уделено формированию однозначной трактовки элементов нотации BPM, прозрачности исследуемых БП как для заказчика, так и для проектировщика БП,

на всём технологическом цикле: от сбора требований до реального внедрения.

Сформулированы требования к ССБП, реализующей бесшовную технологию описания и исполнения БП. Дальнейшее развитие предложенного подхода, очевидно, состоит в разработке формального аппарата перехода от наглядного представления БП к формальным моделям и в практической реализации соответствующего программного обеспечения моделирования и исполнения БП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Репин, В.В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов [Текст]/ В.В. Репин, В.В. Елиферов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2006. – 408 с.
2. Репин, В.В. «Бизнес-процессы компании»: построение, анализ, регламента-ция [Текст]/ В.В. Репин. – М.: РИА «Стандарты и качество». – 2007. – 240с.
3. TMF eTOM model [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tmforum.org/BestPracticesStandards/BusinessProcessFramework/6637/Home.html>
4. Репин, В.В. Сравнительный анализ нотаций ARIS/IDEF и продуктов их поддерживающих (ARIS Toolset/BPWin) [Электронный ресурс]/ В.В. Репин. – Режим доступа: http://www.iteam.ru/publications/it/section_51/article_2518.
5. OMG. BPMN (Business Process Modeling Notation) [Электронный ресурс]. – v.1.0, 2006. – Режим доступа: http://www.omg.org/technology/documents/bms_spec_catalog.htm.
6. Silver, B. BPMN Method and Style [Текст]/ B. Silver. – Aptos (Calif.): Cody-Cassidy Press, 2009. – 236p.
7. Волков, Ю.О. Диаграммы для описания бизнес-процессов [Текст]/ Ю.О. Волков // "PC Week/Russian Edition". – 2006. – № 35(545). – С.39-40.
8. Белайчук, А. Не ставьте знак равенства между BPM и BPEL [Электронный ресурс]/ А. Белайчук. – Режим доступа: <http://bpms.ru/library/reviews/08/bpmn-bpel/index.html>
9. Swenson, Keith D. Model Strategy: Preserving vs. Transforming [Электронный ресурс]/ Keith D. Swenson. – Режим доступа: <http://kswenson.wordpress.com/2009/02/09/model-strategy-preserving-vs-transforming>.
10. WS-BPEL Extension for People (BPEL4People) [Электронный ресурс]. – Version 1.0, 2007. – Режим доступа: <http://www.bpcord.ru/doc/BPEL4People-v1.pdf>.
11. Пизковски, Э.Р. BPEL4People: человеческий фактор [Текст]/ Э.Р. Пизковски // Сети и системы связи. – 2007. – №14. – С.75-78.

Получено 18.10.2010г.

УДК 539.3

Э.Б. Эйвазов

**ОСОБЕННОСТИ ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ ПОЛОГО
ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО БРУСА С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКИ
НЕЛИНЕЙНОСТИ МАТЕРИАЛА**

Аннотация. Данная статья посвящена к исследованию напряженного состояния изотропного призматического стержня при изгибе из физически нелинейного материала.

Задача решается с при мнением теории функции комплексного переменного и конформного отображения и в итоге используя теорему о вычетах найдена коэффициент, α а потом напряжения в характерных точках стержня.

Представленная задача решается методом последовательных приближений с применением теории функции комплексного переменного и конформного отображения. При решении задачи будем ограничиваться только первым приближением т.к., нулевое приближение соответствует линейному, по этому автором, а также в работах [1,2,3] доказаны, что учет последующих приближений и компонентов напряжений, возникает при переходе от линейной задачи к нелинейной, несущественно влияет на напряженно-деформированное состояние тела.

Пусть поперечное сечение S цилиндра ограничено извне контуром L_1 , а изнутри – контуром L_2 , имеющей общий центр с контуром L_1 .

Введем координатную систему (x, y, ν) , причем ось ov направим параллельно образующим цилиндрического стержня, а оси ox и oy пусть будут главными осями инерции, при этом ось ox направим в сторону растянутых волокон. Оба изгибающие моменты M , приложенные к концам стержня, действуют в плоскости xoy .

Тогда на основе (1) изгибающие напряжения определяются следующей формулой:

$$\sigma_\nu = \beta x + l_2 f(x, y) \quad (1)$$

где: $\beta = \frac{M}{J}$; M – изгибающий момент, J – момент инерции;

l_2 – константа, которая учитывает отклонение от закона Гука.

$$f(x, y) = \frac{9KG}{3K + G} \left[-\frac{2}{27G^3} \cdot \beta^3 x^3 + ax + by + c \right] \quad (2)$$

Здесь коэффициенты входящее в формулы (2) K и G – соответственно объемный модуль и модуль сдвига.

Входящие в формулу (2) постоянные интегрирования a, b, c определяются из следующих условий:

$$\iint_S f(x, y) dx dy = 0; \quad \iint_S f(x, y) x dx dy = 0; \quad \iint_S f(x, y) y dx dy = 0; \quad (3)$$

Учитывая (2) в (3) и тогда увидим, что первое и третье условия в формуле (3) удовлетворяются тождественно при $b = c = 0$ (так как поперечное сечение стержня симметрично, относительно координатных осей). Чтобы найти постоянную a , с помощью формулы Грина приведем второе условие в формуле (3) к виду:

$$\sum \int_{L_j} \frac{2}{27} \cdot \frac{\beta}{G^3} x^4 y dx + \frac{1}{3} dx^3 dy = 0 \quad (4)$$

Переходя к комплексной переменной $z = x + iy$ в (4), получим следующее уравнение для определения постоянной a :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{18} \cdot \frac{\beta^3}{G^3} \sum \int_{L_j} \left(t^5 + 3t^4 \cdot \bar{t} + 2t^3 \cdot \bar{t}^2 - 2t^2 \cdot \bar{t}^3 - 3t \cdot \bar{t}^4 - t^5 \right) \cdot (dt + d\bar{t}) + \\ & + a \sum \int_{L_j} \left(t^3 + 3t^2 \cdot \bar{t} + 3t \cdot \bar{t}^2 + t^3 \right) \cdot (dt + d\bar{t}) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь t – аффикс контуров L_j ($j = 1, 2$)

Применив интегрирование по частям в (5), будет иметь:

$$a = \frac{1}{18} \cdot \frac{\beta^3}{G^3} \cdot \frac{\sum \int \left(t^4 \cdot \bar{t} + 2t^3 \cdot \bar{t}^2 + 2t^2 \cdot \bar{t}^3 + t \cdot \bar{t}^4 + \frac{1}{5} t^5 \right) dt}{\sum \int \left(3t^2 \cdot \bar{t} + 3t \cdot \bar{t}^2 + t^3 \right) dt} \quad (6)$$

Для решения (6) будем использовать теорию конформного отображения. При этом внешность эллипса L_1 отображается на внешность единичной окружности γ в вспомогательной плоскости χ с помощью функции

$$t = A\tau \left(1 + \frac{m}{\tau^2} \right) \quad (7)$$

где

$$A = \frac{a+b}{2}; \quad |m| = \frac{a-b}{a+b}.$$

Здесь τ – аффикс точки γ , a и b – соответственно, большая и малая полуоси эллипса. Знак m определяет форму расположения контура L_1 в плоскости z . Когда $m > 0$, большая ось симметрии эллипса совпадает с осью абсцисс, а когда $m < 0$, малая ось симметрии совпадает с осью абсцисс.

Учитывая формулу (7) в (6) и используя теорему о вычетах, легко находим:

$$a = \frac{1}{27} \cdot \frac{\beta^3}{G^3} \cdot \frac{(1-m) \cdot (1+m)^5 A^6 - R^6}{(1-m) \cdot (1+m)^3 A^4 - R^4} \quad (8)$$

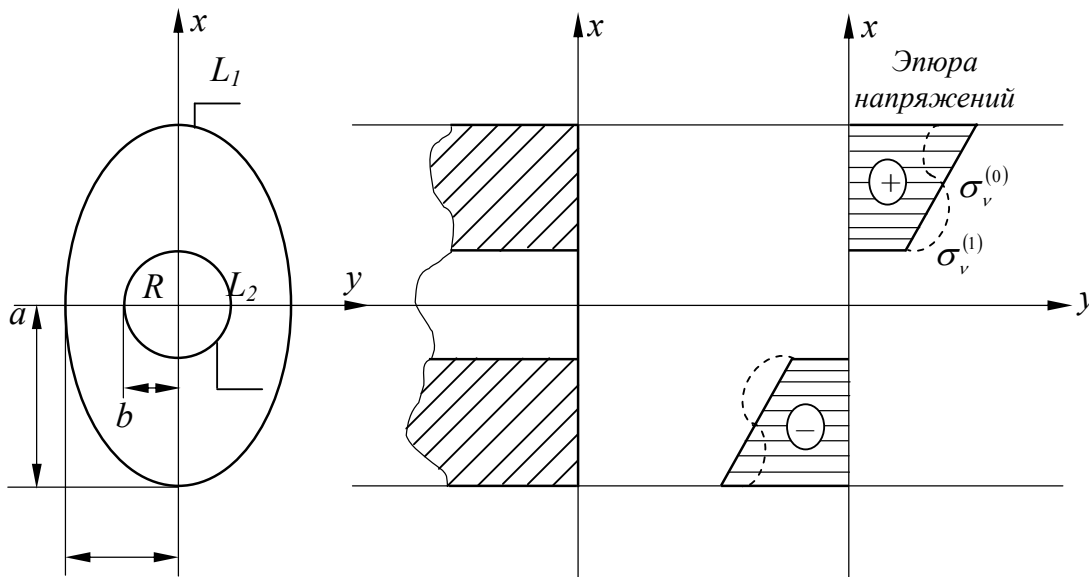
Проиллюстрируем полученное решение численными примерами при следующих данных:

$$\begin{aligned} 1) \quad & \frac{a}{b} = 3; \quad m = \frac{1}{2}; \quad \frac{R}{A} = \frac{\sqrt{2}}{4}; \quad 2) \quad \frac{a}{b} = 3; \quad m = \frac{1}{2}; \quad \frac{R}{A} = \frac{1}{2}; \\ 3) \quad & \frac{a}{b} = 3; \quad m = -\frac{1}{2}; \quad \frac{R}{A} = \frac{\sqrt{2}}{4} \end{aligned}$$

Пусть стержень изготовлен из чистой меди ($l_2 = 0,18 \cdot 10^6$; $k = 1,37 \cdot 10^5$ МН/м²; $G = 0,46 \cdot 10^5$ МН/м²), при этом для вариантов 1 и 2 примем $\beta = 15$ Кн/а₁, а для варианта 3 $\beta = 15$ Кн/б₁.

Далее при помощи (8) для всех вариантов найдена постоянная и подставлена в (2), а потом в (1), таким образом в характерных точках поперечного сечения стержня найдены напряжения изгиба σ , а для варианта 1 на эпюре сплошная линия соответствует линейному, а пунктирная линия – нелинейному решению. Из таблицы видно, что там, где больше концентрации напряжений при учете физической нелинейности материала, напряжение концентрации уменьшилось примерно на 15–20%, а там где концентрация напряжений меньше, наоборот, увеличилась. Таким образом, на основании приведенного численного анализа можем сделать следующие выводы: для стержней, ослабленных продольными полостями, учет физической нелинейности материала приводит к снижению концентрации

напряжений, т.е. более равномерному распределению напряжений в зонах концентраций и сглаживанию эпюр напряжений в опасных сечениях.



Рисунок

Таблица

Коорд. точк.	Вариант 1		Вариант 2		Коорд. точк.	Вариант 3	
	$\sigma_v^{(0)}$ КН/см ²	$\sigma_v^{(1)}$ КН/см ²	$\sigma_v^{(0)}$ КН/см ²	$\sigma_v^{(1)}$ КН/см ²		$\sigma_v^{(0)}$ КН/см ²	$\sigma_v^{(1)}$ КН/см ²
O, R	3,536	4,143	5	5,812	O, R	10,607	11,122
$O, R + \frac{a - R}{2}$	0,268	9,703	10	10,349	$O_1 \frac{b - R}{2} + R$	12,803	12,306
O, a	15	12,158	15	12,335	O, b	15	12,859

ЛИТЕРАТУРА

1. Каудерер Г. «Нелинейная механика». – М.: ИЛ, 1961, 777 с.
2. Kuliyeв S. «Physical non – linear problems of elasticity theory». Ваку, Azernesher, 2010, 465 p.
3. Грин А., Адкинс Д. «Большее упругие деформации и нелинейная механика сплошной среды». Москва, 1965г. 456 с.
4. Исаев А.М., Гарибов Р.Т. Кручение эллиптического бруса, ослабленного центральной цилиндрической полостью с учетом физической нелинейности материала. Изв.ВУЗов, Строительство и архитектура. Новосибирск, 1985, №7, с. 22–24.

Получено 19.10.2010г.

УДК 621.791.1+517.958

Е.В. Карпович, С.А. Чернецкий, И.И. Карпович
**КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ЗАДАЧАХ
ТЕРМОУПРУГОПЛАСТИЧНОСТИ**

Аннотация. В работе предлагается способ обезразмеривания полной системы уравнений термоупругопластической задачи для многослойных тел. Система уравнений полностью сохраняет свой вид, но появляется один безразмерный комплексный коэффициент, диапазон изменения которого определен в зависимости от температуры для разнообразных металлических материалов. Это позволяет на основе расчетов выполненных в безразмерном виде выбрать наиболее оптимальный вариант геометрических параметров конструкции и комплекс материалов с требуемыми физико-механическими свойствами.

Современные механизмы и машины, применяемые в различных отраслях промышленности, содержат большое количество неподвижных неразъемных многослойных металлоконструкций. Большинство из них может быть отнесено к одной из трех групп: соединения с силовым замыканием, относительная неподвижность деталей в которых обеспечивается механическими силами, возникающими в результате пластических деформаций; соединения с геометрическим замыканием, осуществляемым благодаря форме сопрягаемых деталей, и соединения, в основе которых лежат молекулярные силы: сцепления или адгезия. Наиболее распространенными методами сборки являются создание гарантированного натяга, сварка, пайка, склеивание и клепка [1].

Способ получения соединений зависит от их назначения, условий работы, требуемых эксплуатационных характеристик, таких как прочность, в некоторых случаях плотность, герметичность.

Каждый из перечисленных методов предполагает силовое, температурное или совместное их воздействие на собираемые детали. Это приводит к возникновению различного рода деформаций еще на этапе изготовления. Их величина определяет характеристики будущего соединения. Особенно важно контролировать напряженно-деформированное соединение деталей в соединениях из разнородных материалов, которые применяются в ответственных конструкциях

© Карпович Е.В., Чернецкий С.А., Карпович И.И., 2010

энергетических аппаратов, криогенной, ракетной, авиационной и военной техники и работают при различных температурах и давлениях.

Требуемое качество продукции закладывается еще при проектировании, обеспечивается правильностью и точностью выполнения этапов технологического процесса сборки и в значительной степени зависит от методик расчета, анализа и прогнозирования на всех стадиях изготовления и эксплуатации изделия.

Наиболее удобно при этом использовать комплексные показатели [2], которые позволяют исследовать влияние группы параметров на результат. Единый коэффициент включает в себя широкий диапазон значений каждого параметра и, следовательно, рассматриваемых конструкций.

При расчете напряженно-деформированного состояния деталей приходится рассматривать величины различных порядков. Величины перемещений и деформаций малы по сравнению с единицей, в то время как значения напряжений на несколько порядков больше. Арифметические операции с величинами разных порядков из-за ограниченности разрядной сетки ЭВМ зачастую приводят к значительным погрешностям. Для минимизации влияния этих негативных факторов, в задачах определения напряженно-деформированного состояния многослойной конструкции, состоящей из n толстостенных цилиндров, обезразмеривание можно произвести следующим образом (в цилиндрической системе координат) [3]:

$$r' = \frac{r}{a}; \quad z' = \frac{z}{a}; \quad u'_i = \frac{u_i \cdot \mu_*}{a \sigma_*}; \quad \sigma'_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_*}; \quad \varepsilon'_{ij} = \frac{\varepsilon_{ij} \cdot \mu_*}{\sigma_*}; \quad T' = \frac{T}{T_*}; \quad \alpha' = \frac{\alpha}{\alpha_*} \quad (1)$$

Здесь r, z – текущие координаты, u_i ; ε_{ij} ; σ_{ij} – компоненты вектора перемещений, тензоров деформаций и напряжений соответственно, T – температура тела, α – коэффициент линейного расширения. Штрихами обозначены безразмерные параметры, a – характерный размер тела (например, толщина стенки цилиндра), σ^* , μ^* , T^* , α^* – характерные величины напряжений, модуля сдвига, температуры и коэффициента температурного линейного расширения соответственно. Обычно это предел текучести материала, модуль

сдвига материала, коэффициент температурного линейного расширения одного из слоев и начальная температура тела.

Нетрудно показать, что такое обезразмеривание полной системы уравнений термоупругопластической задачи для многослойных тел [3, 4] не видоизменяет эту систему. Относительно безразмерных переменных она полностью сохраняет свой вид за исключением одного температурного слагаемого в физических уравнениях связи между напряжениями и деформациями, где появляется дополнительный безразмерный комплексный коэффициент $\frac{\mu_*}{\sigma_*} \cdot \alpha_* T_*$. Физический смысл этого коэффициента – масштабный множитель, показывающий соотношение между температурной $\alpha_* T_*$ и «механической» $\frac{\mu_*}{\sigma_*}$ деформациями.

Поэтому представляет практический интерес исследование изменения этого множителя для реальных материалов при различной температуре. Пусть μ^* – модуль сдвига материала, σ^* – предел текучести материала. Построение зависимостей коэффициентов $K_1 = \alpha_* \cdot T_*$, $K_2 = \frac{\mu_*}{\sigma_*}$ и $K_3 = \frac{\mu_*}{\sigma_*} \cdot \alpha_* T_*$ от температуры выполнено, используя экспериментальные данные о теплофизических и физико-механических свойствах различных материалов [5 – 8].

Изменение коэффициента $K_1 = \alpha_* \cdot T_*$ от соотношения $\frac{T_*}{T_{пл}}$ ($T_{пл}$ – температура плавления материала) показано на рис. 1, где видно, что с повышением температуры T_* эта зависимость близка к линейной и по характеру аналогична изменению коэффициента температурного расширения материала от температуры [5, 8].

Диапазон изменения коэффициента K_1 для рассматриваемой группы металлических материалов с увеличением отношения $\frac{T_*}{T_{пл}}$ расширяется, но не превосходит величины 0,02 при $\frac{T_*}{T_{пл}} = 1$. Можно предположить, что такой диапазон и характер изменения $K_1 \left(\frac{T_*}{T_{пл}} \right)$ будет иметь место для большинства материалов.

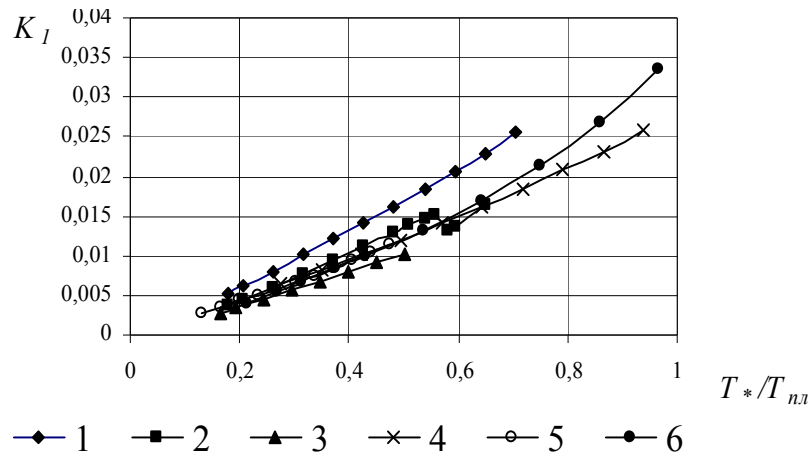


Рисунок 1 – Экспериментальная зависимость $K_1 \left(\frac{T_*}{T_{nl}} \right)$:

1 – Сталь 12Х18Н10Т; 2 – Сталь 45; 3 – ВТ6;
4 – латунь ЛК-80-3; 5 – Мо; 6 – Al

Изменение коэффициента $K_2 = \frac{\mu_*}{\sigma_*}$ для конкретного материала

с увеличением отношения $\frac{T_*}{T_{nl}}$ происходит по экспоненциальной зависимости (рис. 2), что согласуется с выводами в работе [8]. Диапазон изменения K_2 для различных материалов с увеличением температуры также расширяется (рис. 2).

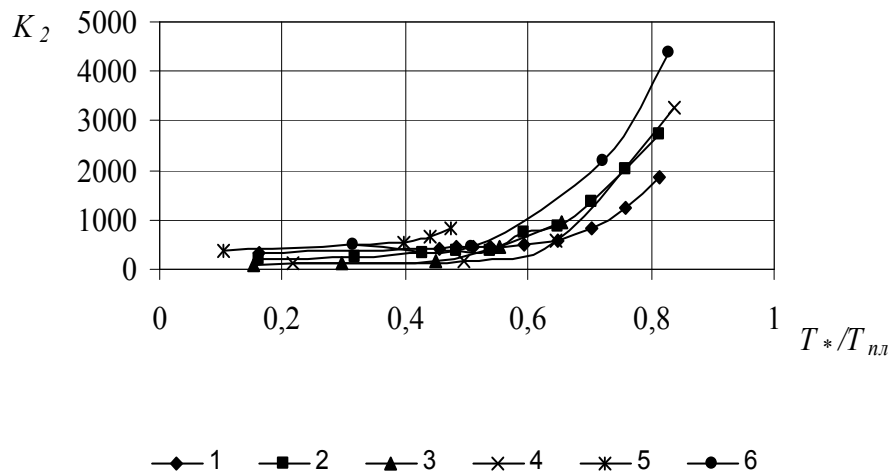


Рисунок 2 – Экспериментальная зависимость $K_2 \left(\frac{T_*}{T_{nl}} \right)$:

1 – Сталь 12Х18Н10Т; 2 – Сталь 45; 3 – ВТ6;
4 – латунь ЛК-80-3; 5 – Мо; 6 – Al

Диапазон изменения комплексного коэффициента K_3 с увеличением температуры расширяется до очень больших пределов (рис. 3). Но при температурах, близких к температуре плавления, для всех материалов наблюдается асимптотическое приближение кривых к прямой $\frac{T_*}{T_{пл}} = 0,9$. Это связано с тем, что при температурах близких к $T_{пл}$ предел текучести у всех материалов снижается практически до нуля [6 - 8].

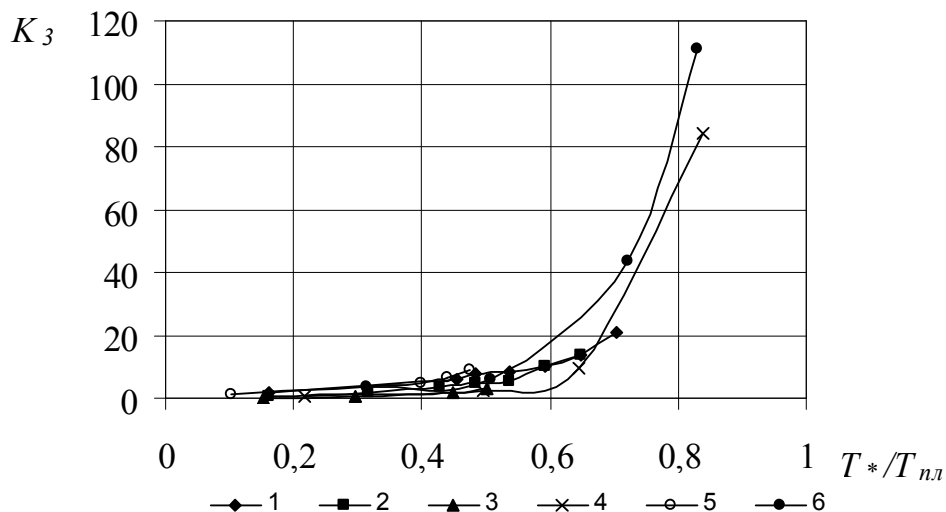


Рисунок 3 – Экспериментальная зависимость $K_3 \left(\frac{T_*}{T_{пл}} \right)$:

1 – Сталь 12Х18Н10Т; 2 – Сталь 45; 3 – ВТ6;
4 – латунь ЛК-80-3; 5 – Мо; 6 – Al

Математический анализ эмпирических зависимостей, полученных на основе экспериментальных данных, позволил определить максимальные и минимальные значения коэффициента K_3 в зависимости от отношения $\frac{T_*}{T_{пл}}$ (табл. 1).

Таблица 1

Максимальные и минимальные значения коэффициента K_3

Значения коэффициента K_3	Величина отношения $\frac{T_*}{T_{пл}}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,82	0,91
максимальные	1	2	3,35	5	11	24	53	100	110	160,8
минимальные	0	0	1	1	2,23	5,6	18	54	65	153,4

На графике (рис. 4), построенном по данным таблицы 1, выделяется область изменения комплексного коэффициента K_3 , которая зависит от температуры и является наибольшей при $T = (0,50 \dots 0,82) T_{n.l}$ (рис. 3).

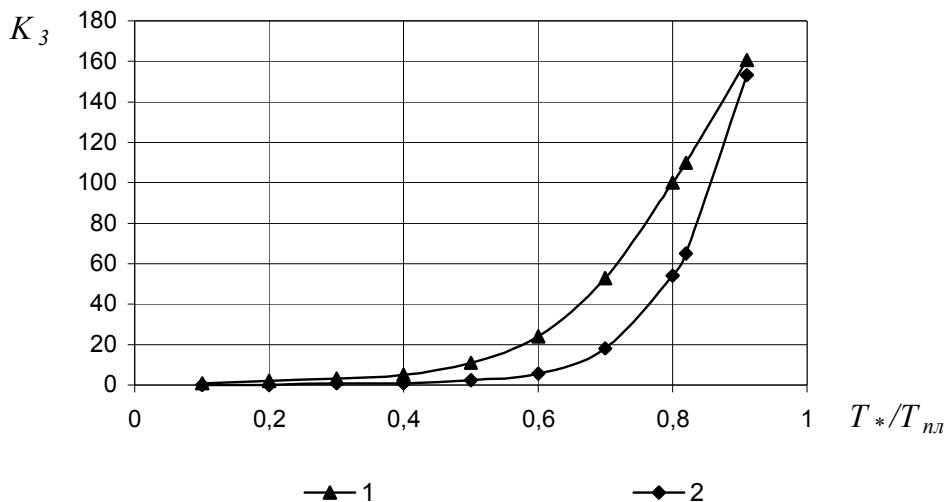


Рисунок 4 – Диапазон значений коэффициента K_3 в зависимости от отношения $\frac{T^*}{T_{n.l}}$: 1 – максимальные значения коэффициента K_3 ; 2 – минимальные значения коэффициента K_3

Результаты, представленные в таблице 1 и на рисунке 4, позволяют определить диапазон значений комплексного параметра K_3 и выполнить решение обезразмеренной задачи при заданной начальной температуре тела $T = T^*$ с требуемым шагом. Любое значение из рассматриваемого диапазона включает два безразмерных и четыре конкретных размерных параметра, каждый из которых может определяться в зависимости от других.

Определив диапазоны изменения безразмерных коэффициентов для самых различных материалов и температур, можно осуществлять расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций в безразмерном виде. Их результаты, позволят выбрать наиболее оптимальный вариант конструкции для широкого диапазона геометрических и физико-механических свойств материалов. Такой подход позволит существенно сократить объем численных расчетов и увеличить их точность.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов – М.: Машиностроение, 1969. – 632 с.
- 2.Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике – М.: Радио и связь, 1984. – 287 с.
- 3.Чернецкий С.А. Вариационная постановка термоупруго-пластических задач для слоистых тел при наличии трения // Сб. научных трудов Вопросы прочности и пластичности. 1989. – С. 43-49.
- 4.Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. Упавнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести. – К.: Наукова думка, 1981. – 496 с.
- 5.Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике: Справочник / Под ред. Б. Е. Неймарк. – Л.: Энергия, 1967. – 240 с
- 6.Структура и свойства металлов и сплавов, справочник. / Л. В. Тихонов, В. А. Кононенко, Г. И. Прокопенко, В. А. Рафаловский. // Механические свойства металлов и сплавов. – К.: Наукова думка, 1986. – 558 с.
- 7.Бобылев А. В. Механические и технологические свойства металлов: Справ. изд. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987 г. – 208 с.
- 8.Карпович Е. В. Определение закономерностей влияния высокой температуры на физико-механические свойства металлов и сплавов // Системні технології. Регіональний міжвузівський зб. наукових праць. – Випуск 3 (26). – Днепропетровск, 2003. – С. 127-134.

Получено 22.10.2010г.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

И.А. Павлюченков, С.А. Усенко, Е.В. Сало

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПО МЕТОДУ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ СЛИТКА ЖИДКИМ МЕТАЛЛОМ

Аннотация. Представлена совместно решенная математическая модель тепловой и электрической задачи для процесса получения слитка методом электрошлаковой наплавки жидким металлом (ЖМ). Также приведены результаты численного решения по представленной модели, свидетельствующие об ее адекватности.

Ключевые слова: крупный слиток, электрошлаковая наплавка жидким металлом, токоподводящий кристаллизатор, комплексное математическое моделирование, теплоперенос, двухфазная зона.

Введение. Наличие компьютеров с большой ресурсной емкостью по объему памяти и быстродействию расширяет возможности в постановке вычислительных задач, позволяет проводить численное решение разнообразных технических задач в области металлургии, спецэлектрометаллургии и т.д., провести анализ полученных результатов, дать рекомендации по оптимизации технологических и конструктивных параметров процесса и прогнозировать качество выпускаемой продукции.

Постановка задачи. В теории электрошлакового переплава достаточно подробно изучены электрические, тепловые и гидродинамические процессы, происходящие в шлаковой и металлической ванне, в отдельности [1,2]. Но эти процессы неразрывно связаны друг с другом и поэтому возникает задача комплексного их рассмотрения. Целью статьи является численное решение тепловой и электрической задачи по разработанной математической модели для слитка, полученного методом электрошлаковой наплавки жидким металлом в водоохлаждаемом медном кристаллизаторе.

Алгоритм. Рассмотрим процесс формирования биметаллического слитка круглого сечения в процессе электрошлаковой наплавки жидким металлом в токоподводящем

кристаллизаторе. Процесс затвердевания металла происходит в интервале температур ликвидуса T_L и солидуса T_S с переходом из жидкого в твердое состояние, с образованием двухфазной зоны.

Расчет ведется с момента полного заполнения полости кристаллизатора жидким металлом и наведением поверх него шлаковой ванны. Принимаем, что жидкий металл подается в одном месте, мгновенно и равномерно распределяется по всей верхней поверхности кристаллизатора. Металлическая вставка имеет гладкую поверхность без дефектов. В процессе формирования слиток проходит ряд стадий, отличающихся теплофизическими и физико-химическими условиями.

Для анализа температурного распределения в формирующемся биметаллическом слитке прибегаем к классическим методам теории теплообмена.

Распределение температур в шлаковой, металлической ванне, твердой вставке и медной стенке кристаллизатора описывается двумерным уравнением теплопроводности в цилиндрической системе координат с соответствующими граничными условиями [1]:

$$\rho_n(t) \cdot c_n(t) \frac{\partial t(r, z, \tau)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda_n(t) r \frac{\partial t(r, z, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_n(t) \frac{\partial t(r, z, \tau)}{\partial z} \right] + q_v \quad (1)$$

Символами c , ρ , λ обозначаются коэффициент теплоемкости, плотность и коэффициент теплопроводности рассматриваемой среды; T - температура рассматриваемой среды, °C; τ - время процесса, сек; n - символ, позволяющий учитывать соответствующую рассматриваемую среду (твердая металлическая вставка, шлаковая или металлическая ванна, медная стенка кристаллизатора); q_v - коэффициент, определяющий мощность внутренних источников теплоты.

В процессе кристаллизации металла происходит выделение (поглощение) определенного количества теплоты кристаллизации L , которую можно учесть заданием эффективной теплоемкости c_{eff}^M [4].

Для приближенного учета конвективных течений в металлической ванне слитка, в расчетах увеличиваем величину коэффициента теплопроводности расплавленной стали в m раз, сохраняя уравнение переноса тепла одинаковым, как для твердой,

так и для жидкой фазы. Коэффициент пропорциональности m – это опытное значение, которое зависит от температуры жидкого металла, конструкции подаваемого устройства и т.д. Авторы работы [3] рекомендуют принимать величину коэффициента пропорциональности от 2 до 5.

Для учета изменения температуры в потоке охлаждающей воды и оценки степени его влияния на формирование слитка в кристаллизаторе, в данную математическую модель вводим одномерное уравнение энергии, учитывающее изменение температуры:

$$\rho_w(t) \cdot c_w(t) \cdot \frac{\partial T_w(z, \tau)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_w(t) \frac{\partial T_w(z, \tau)}{\partial z} \right] \quad (2)$$

Символами ρ_w и c_w обозначены плотность и коэффициент теплоемкости воды соответственно.

Начальное условие можно представить так:

$$T(r, z, 0) = T_L + 35...45,$$

Предполагая симметрию поля температур в сечении слитка относительно координатных осей, запишем условие на оси симметрии:

$$\pm \lambda(t) \frac{\partial T(0, z)}{\partial n} = 0 \quad (3)$$

На границе поверхность шлаковой ванны – окружающая среда, боковая поверхность металлической вставки – окружающая среда происходит конвективно-лучистый теплообмен и выполняется граничное условие третьего рода:

$$\lambda(T) \frac{\partial T(r, z, \tau)}{\partial n} = \alpha_\kappa(T)(t - t_{cp}) + \varepsilon_{нов} C_0 \left((T + 273)^4 - (T_{cp} + 273)^4 \right), \quad (4)$$

где α_κ – коэффициент теплопередачи конвекцией, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$, $\varepsilon_{нов}$ – степень черноты поверхности металла; C_0 – излучения абсолютно черного тела, $\frac{Вт}{м^2 \cdot K^4}$; T_{cp} – температура окружающей среды, K .

Граничные условия в формирующей части кристаллизатора [5]:

$$\begin{aligned}
& -\lambda_{M.eff}(t) \frac{\partial T_M(r, z, \tau)}{\partial \bar{n}_i} = \frac{\lambda_{sh}(t)}{\delta_z} \cdot (T_M - T_{sh}) + \\
& = + \frac{\lambda_z}{\delta_z} \cdot (T_M - T_{kr}) + \varepsilon_{priv} \cdot \sigma_0 \cdot \left((T_M + 273)^4 - (T_{kr} + 273)^4 \right) \quad (5)
\end{aligned}$$

Электромагнитные процессы в проводящих средах описываются системой уравнений Максвелла [6,7]:

$$rot \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad rot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (6)$$

$$div \vec{B} = 0, \quad div \vec{D} = \rho \quad (7)$$

где $\vec{H}$, $\vec{E}$ - соответственно напряженность магнитного и электрического полей, $\vec{B}$ - вектор магнитной индукции, $\vec{D}$ - вектор электрической индукции, ρ - объемная плотность зарядов, $\vec{j}$ - плотность токов проводимости.

К уравнениям (8), (9) присоединяются материальные условия поля

$$\vec{D} = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \vec{H}, \quad \vec{j} = \sigma \cdot (\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \quad (8)$$

Здесь ε_0 и μ_0 - электрическая и магнитные постоянные соответственно, ε - относительная диэлектрическая проницаемость, μ - относительная магнитная проницаемость, σ - удельная электрическая проводимость среды, $\vec{V}$ - вектор скорости жидкости.

Уравнение для электрического потенциала имеет вид

$$div(\sigma \cdot grad \varphi) = 0 \quad (9)$$

Векторное поле плотности тока $\vec{j}$ и удельная производительность джоулевых источников теплоты f в шлаковой ванне вычисляются по формулам:

$$\vec{j} = -\sigma \cdot grad \varphi; \quad f = -\sigma |grad \varphi|^2 \quad (10)$$

Здесь под $\vec{j}$, f и φ понимаются их действующие значения.

Т.к. задача является осесимметричной, то в качестве расчетной области выбрана половина поперечного сечения цилиндрического биметаллического слитка.

Для реализации численных расчетов теплофизической задачи по математической модели, приведенной выше, используется метод

контрольного объема. Расчетная область (рабочее пространство) (рис. 1) разбивается на некоторое количество непересекающихся контрольных объемов с шагом Δr в радиальном, и Δz - в аксиальном направлениях с учетом равномерности сетки $r = i \cdot \Delta r$. Каждая узловая точка содержится в одном контрольном объеме. Значения температуры определяются в узловых точках. Дифференциальные уравнения интегрируются по каждому контрольному объему. Применяется явная разностная схема.

Значение температуры в контрольном объеме с номером (i, j) в момент времени $\tau = n \cdot \Delta \tau$ обозначается $T_{i,j}^n$, значение температуры в том же контрольном объеме в последующий момент времени – $T_{i,j}^{n+1}$, где $(1 \leq i \leq K_0, 1 \leq j \leq M)$ для (n) $(n+1)$ временных слоев. Символами $\rho_{i,j}^n$, $la_{i,j}^n$ и $c_{i,j}^n$ обозначаются значения плотности, теплопроводности удельной теплоемкости, контрольного объема с номером (i, j) в зависимости от температуры $T_{i,j}^n$.

Численное описание электромагнитной задачи приведено ранее в работах [6, 7].

Программа расчетов реализована на языке Delphi в одноименной среде разработки Delphi 7.0.

Вводятся матрицы температур $t[i, j]$ и $t1[i, j]$ $(1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq M)$ для (n) $(n+1)$ временных слоев. Вводятся матрицы теплофизических параметров плотности $\rho[i, j]$, теплопроводности $la[i, j]$ и теплоемкости $c[i, j]$, куда заносятся соответствующие значения параметров материалов вставки, наплавляемого металла, шлака, кристаллизатора, охлаждающей воды, окружающей среды, зависящие от температуры. В модуль теплового расчета вводится матрица значений плотности джоулевого источника тепла $q_v[i, j]$, полученных в отдельном программном модуле. Целые переменные N и M обозначают верхнюю границу (N) движущейся вставки и нижнюю границу (M) вставки и наплавленного металла.

Вводятся исходные данные теплофизических величин для металлической вставки, шлаковой и металлической ванны, медной стенки кристаллизатора, потока охлаждающей воды.

Программа разбита на несколько подпрограмм: формирование массивов теплофизических величин, расчет температуры металлической вставки, расчет распределения температуры в медной стенке кристаллизатора, шлаковой ванне, наплавляемом слое металла, стенках кристаллизатора и потоке охлаждающей воды.

Для расчетов в качестве исходных параметров использовались: для металлической вставки – сталь 40Х, для жидкого металла - сталь 3сп с соответствующими теплофизическими параметрами, флюс АНФ-94 химический состав которого 40% CaF_2 , 20% Al_2O_3 , 20% SiO_2 , 20% CaO , напряжение на шлаковой ванне – 50 В. Уровень тока определяли расчетным путем. Для данного случая он равен

34280 А.

На рисунке 1 представлена расчетная область рассматриваемого процесса.

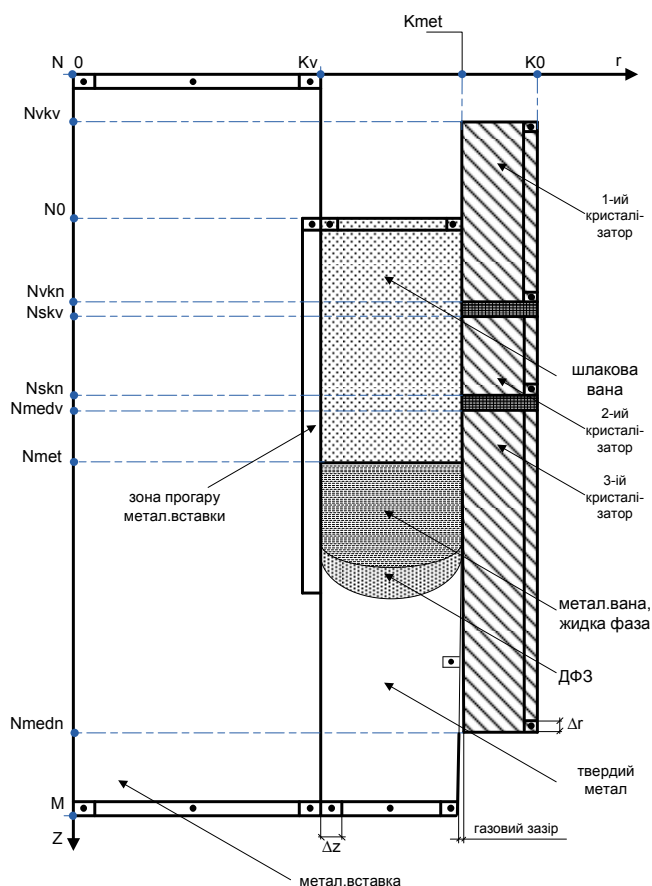


Рисунок 1 – Расчетная область Z0r

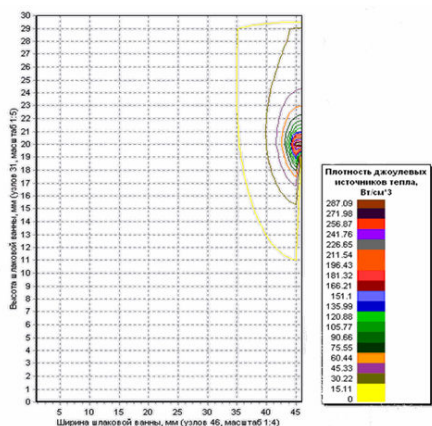
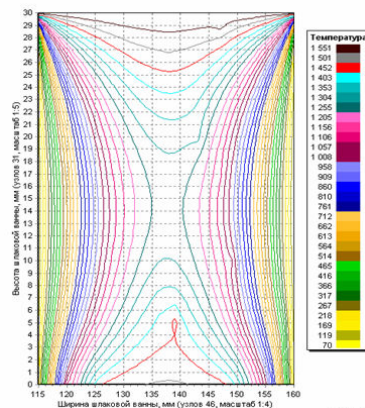


Рисунок 1.2а - Тепловыделение в области шлаковой ванны на последнем расчетном шаге по времени, Bm/cm^3 без учета гидродинамики



**Рисунок 1.26 – Поле температуры
на последнем расчетном шаге по
времени, без учета
гидродинамики**

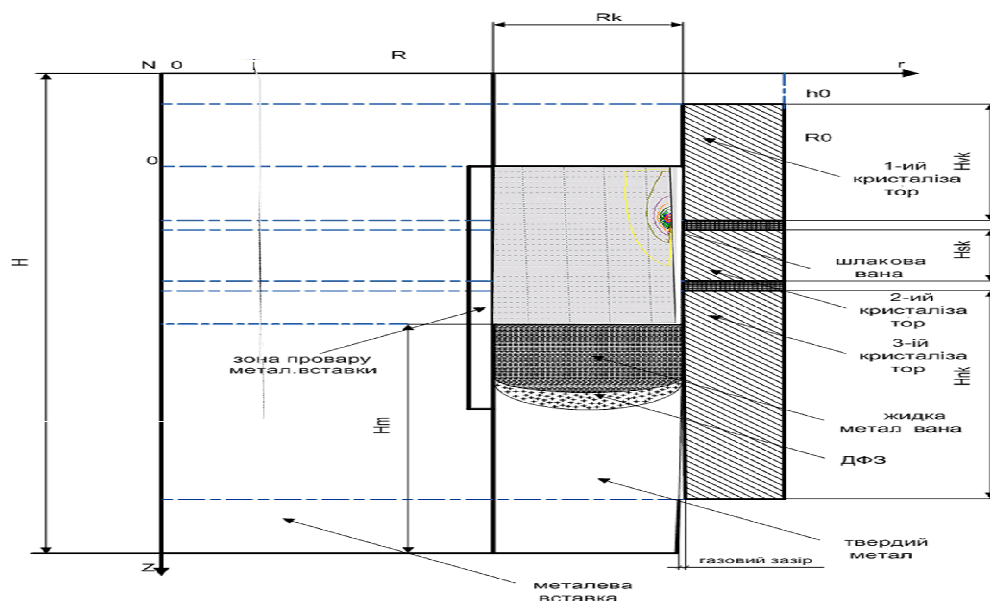


Рисунок 1.3 - Тепловыделение в области шлаковой ванны на последнем расчетном шаге по времени, Bm/cM^3 . Без гидродинамики

На рисунках 1.2а,б и рисунке 1.3 приведено типичное распределение функции $Q[i, j]$ (плотность джоулевого источника теплоты) при температуре шлака 1600 °С и распределение температуры в шлаковой ванне. Видно, что основное количество

тепла концентрируется в зоне токоведущей секции кристаллизатора, обеспечивая формирование поверхности слитка.

Выводы

Адекватность предложенной математической модели и численных результатов подтверждается сравнением результатов с ранее опубликованными расчетными результатами [1].

Результаты численного решения позволяют получить распределение тепла в любой момент времени в каждой точке элемента системы (металлической вставке, шлаковой ванне, наплавляемом слое, потоке охлаждающей воды, медной стенке кристаллизатора).

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое моделирование процессов укрупнения слитков из высоколегированных сталей и сплавов способом электрошлаковой наплавки жидким металлом в токоподводящем кристаллизаторе / В.И. Махненко, Л.Б. Медовар, В.Я. Саенко, Т.В. Королева [и др.] // Современная электрометаллургия. – 2008. - №4. – С.30-43.
2. Тепловые процессы при электрошлаковом переплаве / Под ред. Б.И. Медовара. – Киев: Наук.думка, 1978. – 304 с.
3. Самарский А.А., Вабищев П.Н. Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
4. Самойлович Ю.А., Тимошпольский В.И., Трусова И.А., Несенчук А.П., Фоменко А.П. Стальной слиток: В 3т. Т.1 Управление кристаллической структурой / Под ред. В.И. Тимошпольского, Ю.А. Самойловича. – Мн.: Беларусская наука, 2000. – 583с.
5. В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. Влияние контактного теплообмена и газового зазора на процессы затвердевания непрерывных заготовок. Процессы литья, 1997, №4, с.89-95.
6. Компьютерное моделирование электромагнитных явлений при электрошлаковом процессе / В.Ф. Демченко, И.В. Крикент // Математичне моделювання. – 2002. - №1 (8). – С. 16-20.
7. Математическое моделирование электрошлакового процесса / И.В. Крикент // Математичне моделювання. – 1994. - №1. – С. 57-59.

Получено 23.10.2010г.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

И.А. Павлюченков, Р.В. Волошин, Т.Н. Овчаренко, М.В. Бабенко,
Е.В. Сало

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАВЛЕНИЯ АЛЮМОСОДЕРЖАЩЕГО СЛИТКА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ

Аннотация. В статье разработана математическая модель и алгоритм расчета (на основе метода Дюзимбера) кинетики плавления кусковых материалов, содержащих алюминий при несимметричных граничных условиях. Проведены расчеты длительности плавления алюмосодержащего слитка цилиндрической формы в зависимости от скорости продольного обтекания для различных толщин утяжелителя и защитной оболочки.

Введение. Тенденции развития сталеплавильного производства предусматривают выплавку полупродукта с последующей внепечной обработкой металла на установках доводки металла. Внепечная обработка металла является одним из наиболее эффективных направлений коренного повышения качества металла и ресурсосбережения в металлургии.

В настоящее время для раскисления стали в ковше при выпуске плавки из агрегата обычно используется алюминий в чушках. Алюминий значительно легче стали, поэтому заброшенные в ковш чушки алюминия всплывают на поверхность шлака интенсивно взаимодействуют с атмосферой и со шлаком. Наблюдается низкое (5-15%) усвоение алюминия жидким металлом. Дефицит и высокая стоимость алюминия постоянно заставляют металлургов искать пути снижения его расхода. Одним из решений поставленной задачи является, увеличения плотности алюминиевого слитка путем ввода утяжелителя и с одновременной изоляцией его поверхности от воздействия окислительного шлака [1].

Постановка задачи. Данная задача относится к задачам теплопроводности с подвижными границами раздела фаз. Для ее решения применяются, как правило, численные методы. Наиболее

© Павлюченков И.А., Волошин Р.В., Овчаренко Т.Н., Бабенко М.В., Сало Е.В., 2010

универсальным является метод конечных разностей. Целью статьи является разработка алгоритмов расчета на основе метода Дюзимбера кинетики плавления кусковых материалов в расплаве цилиндрической формы при несимметричных граничных условиях [2].

При вводе слитка в процессе выпуска металла из конвертера в сталеразливочный ковш он будет находиться в объеме расплава или на границе шлак-металл (рис. 1). После расплавления намерзшей стальной оболочки и затем чугунной оболочки часть жидкого алюминия всплывет на шлак а частично конвективными потоками металла попадет в объем металла.

Указанный слиток представлен в виде цилиндра диаметром 70 мм и длиной 700 мм и расположен на границе шлак-металл (рис. 1). Принимаем, что температуры жидкого металла t_m и жидкого шлака $t_{ш}$ постоянны. Предполагаем, что теплофизические параметры слитка и защитного покрытия не зависят от температуры. Предполагаем также, что тепловой поток по длине слитка не значителен, поэтому трехмерная задача нагрева и плавления слитка сводится к двумерной (по радиусу r и углу φ).

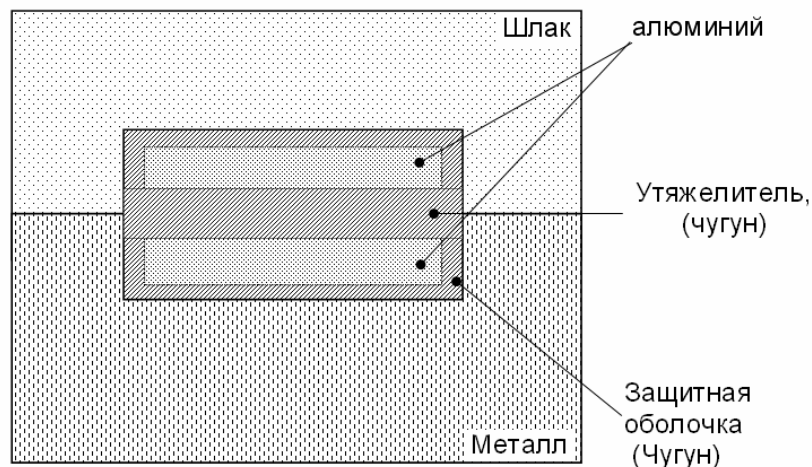


Рисунок 1- К процессу плавления алюминиевого слитка с защитным покрытием и утяжелителем, который расположен на границе шлак-металл

Математическая модель. Уравнение теплопроводности для трех фаз слитка (твердой, двухфазной, жидкой):

$$C_{эф}\rho \frac{\partial T(r, \varphi, \tau)}{\partial \tau} = \left[\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \left[\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right], \quad (1)$$

$$0 < r < R_0, 0 < \varphi < \pi$$

где $C_{эф}$ - эффективная теплоемкость и плотность определяются в виде:

$$C_{эф}(T) = \begin{cases} c_{жс}(t), T \geq t_L^T \\ c_{мс}(t) + Q_{мс} \frac{d\psi(t)}{dt}, t_S^T < T < t_L^T \\ c_{мс}(t), T \leq t_S^T \end{cases} \quad (2)$$

$$\rho(t) = \begin{cases} \rho_{жс}(t), T \geq t_L^T \\ (\rho_{мс}(t) + \rho_{жс}(t))/2, t_S^T < t < t_L^T \\ \rho_{мс}(t), t \leq t_S^T \end{cases} \quad (3)$$

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_{жс}(t), T \geq t_L^T \\ (\lambda_{жс}(t) + \lambda_{мс}(t))/2, t_S^T < T < t_L^T \\ \lambda_{мс}(t), T \leq t_S^T \end{cases} \quad (4)$$

Распределение температур в утяжелителе и защитной оболочке имеет вид:

$$C_u \rho_u \frac{\partial T_u(r, \varphi, \tau)}{\partial \tau} = \left[\lambda_u \frac{\partial^2 T_u}{\partial r^2} \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial T_u}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \left[\lambda_u \frac{\partial^2 T_u}{\partial \varphi^2} \right], \quad (5)$$

$0 < r < R_u, 0 < \varphi < \pi$ — в утяжелителе

$R_0 > r > R_ч, 0 < \varphi < \pi$ — в защитной оболочке чугуна

Граничные условия. На оси симметрии поперечного сечения цилиндра тепловой поток равен нулю, то есть:

$$\frac{\partial t(r, 0, \tau)}{\partial \tau} = 0. \quad (6)$$

На верхней боковой поверхности цилиндра ($0 < \varphi < \varphi_0$) происходит конвективный теплообмен с жидким шлаком с заданным коэффициентом $\alpha_{ш}$ теплоотдачи. На нижней боковой поверхности цилиндра ($\varphi_0 < \varphi < \pi$) происходит конвективный теплообмен с жидким металлом с заданным коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{м}$. Между намерзшими оболочками металла, шлака, защитной оболочкой и поверхностью цилиндра существует идеальный тепловой контакт, т.е. заданы граничные условия IV рода.

Распределение температур в затвердевшей оболочке металла имеет вид:

$$c_m \rho_m \frac{\partial T_m(r, \varphi, \tau)}{\partial \tau} = \left[\lambda_m \frac{\partial^2 T_m}{\partial r^2} \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial T_m}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \left[\lambda_m \frac{\partial^2 T_m}{\partial \varphi^2} \right], \quad (7)$$

$r > R_{\text{ч}}, (\varphi 0 < \varphi < \pi)$

Пусть точка P_m принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки металла. При этом условие движения границы плавления (намерзания) запишем в виде:

$$\alpha_m (t_m(r, \varphi, \tau) - t_{n.l}^m) - \lambda \frac{\partial t_m(P_m)}{\partial n} = -\rho_m Q_m W(P_m); t(P) = t_v. \quad (8)$$

где t_v - температура нулевой жидкотекучести (выливаемости) металла

Распределение температур в затвердевшей оболочке шлака имеет вид:

$$c_w \rho_w \frac{\partial T_w(r, \varphi, \tau)}{\partial \tau} = \left[\lambda_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial r^2} \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial T_w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \left[\lambda_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial \varphi^2} \right], \quad (9)$$

$r > R_{\text{ч}}, (0 < \varphi < \varphi 0)$

Пусть точка P_h принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки шлака. При этом условие движения границы плавления (намерзания) запишем в виде:

$$\alpha_h (t_h(r, \varphi, \tau) - t_{n.l}^w) - \lambda \frac{\partial t_h(P_h)}{\partial n} = -\rho_h Q_h W(P_h); t(P_h) = t_{n.l}^w. \quad (10)$$

В качестве начального условия выбирается равномерное распределение температур в слитке, утяжелителе и защитной оболочке.

Коэффициент теплоотдачи от жидкой стали определяли по данным из следующего критериального уравнения, в котором за характерный размер d принят удесятеренный диаметр слитка:

$$Nu_s = \frac{0,037 Re^{0,8} Pr}{1 + 2,433 Re^{-0,11} (Pr^{2/3} - 1)}, \quad (11)$$

где Re , Pr , Nu - критерии Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта соответственно.

Коэффициент теплоотдачи от жидкой стали определяли по данным.

Алгоритм расчета. В качестве расчетной области выбрана половина поперечного сечения цилиндра (рис. 2). Для решения задачи формируем квадратную координатную сетку. Для этого разобьем рассматриваемую половину сечения вертикальными и

горизонтальными линиями как это показано на рисунке 2. В итоге получили контрольные объемы с координатами i, j . Значения температур будем определять в центре контрольных объемов. Задаем M_0 – начальное количество узлов по радиусу. В предлагаемом алгоритме расчета используется явная разностная схема. Вводятся матрицы температур $t_{i,j}^n$ и $t_{i,j}^{n+1}$ для (n) и $(n+1)$ временных слоев.

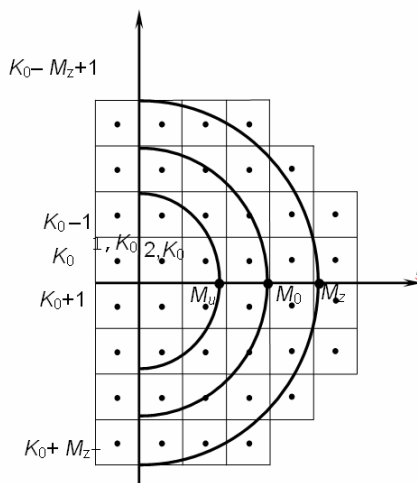


Рисунок 2 – Расчетная область к задаче плавления слитка с защитной оболочкой и утяжелителем, который расположен на границе шлак-металл

Для учета условия симметрии задаем дополнительный столбец температур $t_{1,j}^n$. Равенство нулю тепловых потоков на оси симметрии учитывается посредством присвоения на каждом временном слое значений температур соответствующих столбцов: $t_{1,j}^n = t_{2,j}^n$. В результате такого подхода все контрольные объемы расчетной области являются внутренними, что существенно упрощает составление программы расчета. Вводятся матрицы теплофизических параметров плотности $\rho_{i,j}^n$, теплопроводности $\lambda_{i,j}^n$ и теплоемкости $c_{i,j}^n$, куда заносятся на каждом временном слое соответствующие значения параметров материала слитка, утяжелителя, защитной оболочки из чугуна и затвердевших металла и шлака.

В данной задаче используется только одно обобщенное уравнение для расчета температур на “ $n+1$ ” временном слое. Оно имеет следующий вид:

$$t_{i,j}^{n+1} = t_{i,j}^n + r_z (t_{i-1,j}^n - t_{i,j}^n) - r_v (t_{i,j}^n - t_{i+1,j}^n) + r_s (t_{i,j-1}^n - t_{i,j}^n) - r_j (t_{i,j}^n - t_{i,j+1}^n) \quad (12)$$

Значение коэффициента r_z (z – ”запад”) определяется по формуле:

$$r_z = \frac{\Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i-1,j}^n} \right)}. \quad (13)$$

Значение коэффициента r_v (v – ”восток”) определяется в зависимости от значения температуры в контрольном объеме с номером $t_{i+1,j}^n$:

$$r_v = \frac{\alpha \cdot \Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad t_{i+1,j}^n = t_{ж} \quad (14)$$

$$r_v = \frac{\Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i+1,j}^n} \right)}, \quad (15)$$

$$t_{i+1,j}^n \neq t_{ж}$$

Температура расплава $t_{ж}$ принимает значение жидкого металла t_m или жидкого шлака $t_{ш}$.

Значение коэффициента r_s (s – ”север”) определяется в зависимости от значения температуры в контрольном объеме с номером $t_{i,j-1}^n$:

$$r_s = \frac{\alpha \cdot \Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad (16)$$

$$t_{i,j-1}^n = t_{ж}$$

$$r_s = \frac{\Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j-1}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} \right)} \quad (17)$$

$$t_{i,j-1}^n \neq t_{ж}$$

Значение r_j (j – ”юг”) определяется в зависимости от температуры в контрольном объеме с номером $t_{i,j+1}^n$:

$$r_j = \frac{\alpha \cdot \Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \Delta x}, \quad (18)$$

$$t_{i,j+1}^n = t_{ж}$$

$$r_j = \frac{\Delta \tau}{\rho_{i,j}^n \cdot c_{i,j}^n \left(\frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j}^n} + \frac{\Delta x^2}{2\lambda_{i,j+1}^n} \right)}, \quad (19)$$

$$t_{i,j+1}^n \neq t_{ж}$$

Если контрольный объем с нижней, верхней и правой сторон обтекаются расплавом, то r_v , r_s и r_j определяются по формулам (14), (16) и (18) соответственно.

Согласно метода Дюзимбера при намерзании и последующем плавлении оболочки металла и чугуна температура поверхностного слоя принимает значение соответствующей температуры плавления (намерзания), т.е. расчет поля температур по формулам (16 – 22) производится с граничными условиями I рода.

Для расчета процесса намерзания и последующего плавления металлической оболочки вычисляется, согласно метода Дюзимбера, избыточная температура:

$$\begin{aligned} t_u = & t_v + r_z (t_{i-1,j}^n - t_v) - r_v (t_v - t_{i+1,j}^n) + \\ & + r_s (t_{i,j-1}^n - t_v) - r_j (t_v - t_{i,j+1}^n), \end{aligned} \quad (20)$$

Если значение избыточной температуры t_u меньше температуры нулевой жидкотекучести металла t_v , то на данном временном слое происходит процесс намерзания металла. При этом, разность между значением избыточной температуры и температурой нулевой жидкотекучести металла t_v суммируется в счетчиках для каждого поверхностного контрольного объема. С этой целью введена матрица $cd_{i,j}$; в начале расчета ее элементы равны нулю. Если через k_1 шагов по времени значение $cd_{i,j}$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в металле к его теплоемкости, то температура расплава в соседнем контрольном объеме заменяется на температуру нулевой жидкотекучести металла t_v .

Если значение избыточной температуры t_u больше температуры нулевой жидкотекучести металла t_v , то на данном временном слое происходит процесс расплавления намерзшего

металла. По истечении k_2 шагов по времени значение $cd_{i,j}$ станет больше отношения теплоты фазового перехода в металле к его теплоемкости, и температура $t_{i,j}^n$ в контрольном объеме заменяется на температуру расплава.

Аналогично, для расчета процесса намерзания и последующего плавления шлаковой оболочки вычисляется, согласно метода Дюзимбера, избыточная температура:

$$\begin{aligned} t_u &= t_{nl}^h + r_z(t_{i-1,j}^n - t_{nl}^h) - r_v(t_{nl}^h - t_{i+1,j}^n) + r_s(t_{i,j-1}^n - t_{nl}^h) - r_j(t_{nl}^h - t_{i,j+1}^n), \\ t_u &= t_{nl}^h + r_z(t_{i-1,j}^n - t_{nl}^h) - r_v(t_{nl}^h - t_{i+1,j}^n) + r_s(t_{i,j-1}^n - t_{nl}^h) - r_j(t_{nl}^h - t_{i,j+1}^n), \end{aligned} \quad (21)$$

где t_{nl}^h – температура плавления шлака

Расчет по данному алгоритму заканчивается при условии проплавления металлической оболочки и защитного покрытия для любого из контрольных объемов. При этом алюминиевый слиток полностью проплавляется.

Проведены расчеты длительности плавления слитка в зависимости от скорости продольного обтекания цилиндра (учитывалась естественная и вынужденная конвекция) для различных толщин утяжелителя и защитной оболочки.

Для расчетов использовались теплофизические параметры для алюминия, металлического расплава и шлака [3]. Формула для расчета коэффициента теплоотдачи в шлаковом расплаве взята из работы [4]. Результаты расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем приведены ниже в виде графиков зависимости для трех скоростей обтекания:

График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем с диаметром 5мм
скорость обтекания $V = 0,1$ м/с, $\alpha_m = 12166$ кДж

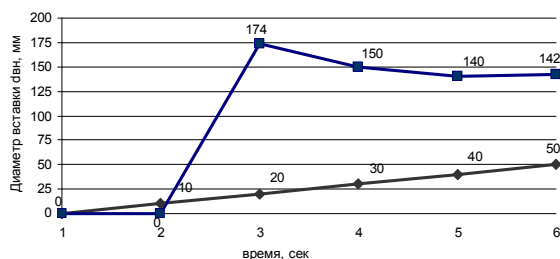


График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем диаметром 10 мм
скорость обтекания $V = 0,1$ м/с, $\alpha_m = 12166$ кДж

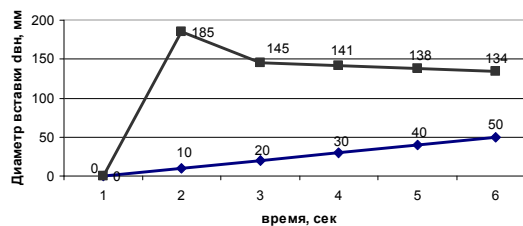


График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем диаметром 15 мм
 скорость обтекания $V = 0,1$ м/с, $\alpha \cdot m = 12166$ кДж

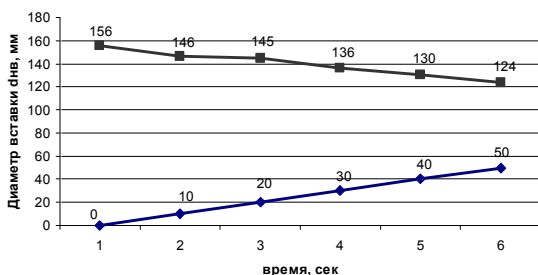


График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем диаметром 5 мм
 скорость обтекания $V = 0,5$ м/с, $\alpha \cdot m = 13494$

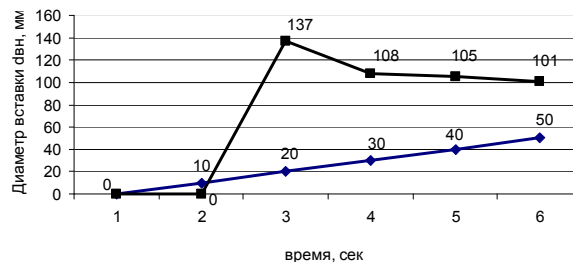


График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем диаметром 10 мм
 скорость обтекания $V = 0,5$ м/с, $\alpha \cdot m = 13494$

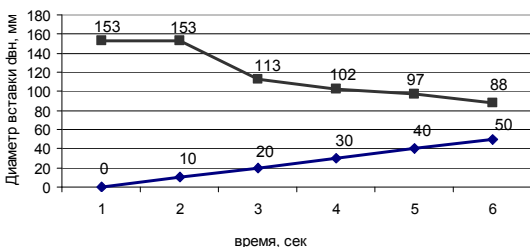


График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем диаметром 15 мм
 скорость обтекания $V = 0,5$ м/с, $\alpha \cdot m = 13494$

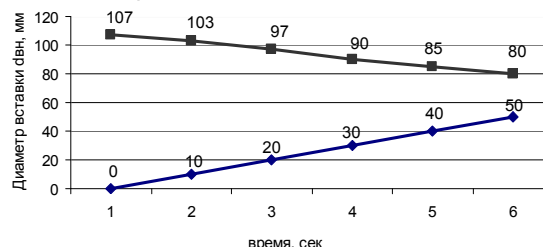


График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем диаметром 5 мм
 скорость обтекания $V = 1,0$ м/с, $\alpha \cdot m = 16527$

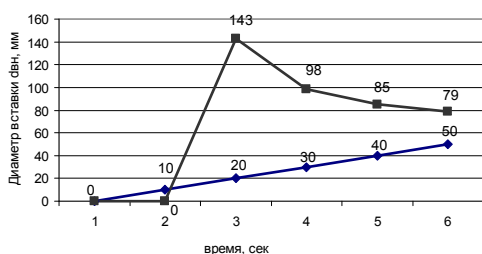


График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем диаметром 10 мм
 скорость обтекания $V = 1,0$ м/с, $\alpha \cdot m = 16527$

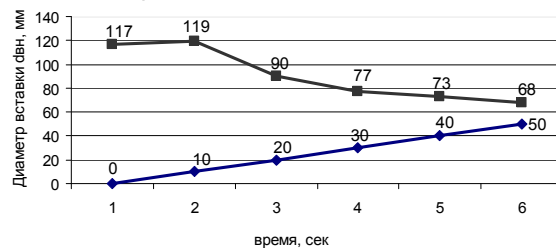
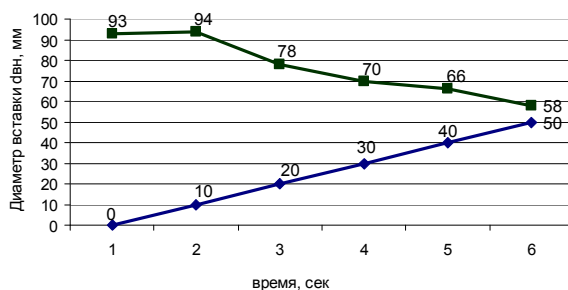


График результатов расчетов для алюминиевого слитка в оболочке с утяжелителем диаметром 15 мм
 скорость обтекания $V = 1,0$ м/с, $\alpha \cdot m = 16527$



Выводы: По результатам вычислительного эксперимента, можно увидеть, что для указанных скоростей обтекания (характерных при выпуске металла в ковш) длительность проплавления оболочки слитка не превышает время заполнения ковша (5–10 мин).

Результаты вычислительного эксперимента позволяют установить рациональные режимы ввода слитков, обеспечивающие

наиболее благоприятные условия для их расплавления в сталеразливочном ковше в процессе выпуска металла из кислородного конвертера.

Адекватность предложенного алгоритма расчета подтверждается сравнением результатов вычислительного эксперимента с ранее опубликованными экспериментальными и расчетными результатами одномерных задач плавления для различных материалов [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлюченков И.А. Численное моделирование (на основе метода Дюзимбера) процессов плавления тел в расплаве // Математичне моделювання. – 1997. – №2 С. 37-43.
2. Моделирование процесса плавления чушкового алюминия при раскислении и доводке стали в ковше/ В.А. Вихлевщук, К.Г Носов., В.Ф Поляков.[и др.] // Изв. вузов.Черная металлургия.– 1988–№9–С.31-34.
3. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. - М: Металлургия, 1976.–552 с.
4. Павлюченков И.А., Волошин Р.В., Сало Е.В., Овчаренко Т.Н. Математическое моделирование кинетики плавления тугоплавких материалов цилиндрической формы на границе шлак-металл.”Системні технології”, 4 (69), Регіональний міжвузівський збірник наукових праць, 2010.-М.Дніпропетровськ. С. 113-121.

Получено 23.10.2010г.

УДК 539.3

И.Ю. Наумова

К РЕШЕНИЮ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ПЛАСТИН В ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ

Аннотация. Выполнено построение уравнений уточненной теории, приемлемой для решения контактных задач по лицевым поверхностям, пластин, находящихся в стационарном температурном поле. На основе предложенных уравнений рассмотрена деформация негладкой пластины, зажатой между плоскими штампами в температурном поле. Исследован симметричный процесс, при котором сначала пластина была обжата штампами, а затем температурное поле изменялось, оставаясь постоянным по толщине и ширине пластины.

Введение. Интерес к проблеме механического взаимодействия пластин по лицевым поверхностям в температурном поле вызван расширением области применения тонкостенных конструкций в инженерной практике. Решение таких задач в постановке теории упругости связано с применением прямых численных методов. При этом из-за больших градиентов в контактных напряжениях в окрестности границ области контакта возникают трудности при численной реализации. Решение в постановке классических теорий пластин можно найти только в классе обобщенных функций, сингулярная часть которых распределена по границе области контакта. В имеющихся уточненных теориях с учетом сдвига и обжатия [1], [2] нет учета температурного фактора. Таким образом, задача построения уточненной теории пластин, пригодной для решения контактных задач с учетом температурного фактора и сочетающей простоту прикладных теорий с достаточной точностью, является актуальной.

В данной работе обобщенная теория пластин, приемлемая в контактных задачах по лицевым поверхностям построена полуобратным методом. При этом было использовано обобщение рейснеровской теории А.Л. Гольденвейзером. В отличие от последней, соотношения упругости выведены не из вариационного принципа, а путем осреднения соотношений упругости с произвольным весом.

© Наумова И.Ю., 2010

Полученные уравнения применены к решению одномерной контактной задачи о взаимодействии полосы, находящейся в температурном поле, со сжимающими ее штампами.

Построение уравнений обобщенной теории пластин, находящихся в температурном поле. Изотропную пластину, находящуюся в температурном поле, толщины h будем рассматривать в постановке теории упругости с учетом краевых условий на лицевых поверхностях. Предполагается, что температура изменяется в таких пределах, при которых коэффициенты упругости не меняются, удлинения пропорциональны температуре и по всем направлениям одинаковы, а, следовательно, угловые деформации при нагревании элементарного объема равны нулю. Будем рассматривать установившийся температурный процесс (изменение температуры t - известная функция от координат, которая не изменяется по толщине пластины).

В специальной ортогональной криволинейной системе координат $\tilde{\mathcal{Q}}_1 = h \cdot \mathcal{Q}_1$; $\tilde{\mathcal{Q}}_2 = h \cdot \mathcal{Q}_2$; $\tilde{z} = h \cdot x_3$ [3] имеем:

- уравнения равновесия при отсутствии массовых нагрузок

$$\vec{\nabla} \tau + \partial_3 \vec{\sigma}_3 = 0; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{\sigma}_3 + \partial_3 \sigma_{33} = 0; \quad (1)$$

- прямую форму закона Гука (уравнения Дюгамеля – Неймана) с учетом соотношений Коши

$$\begin{aligned} \varepsilon = def \bar{u}_\tau &= \frac{1}{2 \cdot G} \tau - \frac{\nu}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot G} (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}) \mathbf{E} + \alpha \cdot t \mathbf{E}; \\ \vec{\varepsilon}_3 &= \vec{\nabla} u_3 + \partial_3 \bar{u}_\tau = \frac{1}{G} \vec{\sigma}_3; \\ \varepsilon_{33} = \partial_3 u_3 &= \frac{1}{2 \cdot (1 + \nu) \cdot G} (\sigma_{33} - \nu \cdot (\sigma_{11} + \sigma_{22})) + \alpha \cdot t; \end{aligned} \quad (2)$$

- условия на лицевых поверхностях $x_3 = \frac{j}{2}$, $j = \pm 1$, в области $S_q^{(j)}$, где задана нагрузка $q_n^{(j)} = q_n^{(j)}(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2)$, и в области $S_u^{(j)}$, где заданы перемещения $\tilde{u}_n^{(j)} = h \cdot u_n^{(j)}(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2)$ определим формулами

$$\begin{aligned} \vec{\sigma}_3 \left(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2, \frac{j}{2} \right) &= j \cdot \vec{q}_\tau^{(j)}(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2); \quad \sigma_{33} \left(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2, \frac{j}{2} \right) = j \cdot q_3^{(j)}(\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2); \\ (\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2) &\in S_q^{(j)}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\bar{u}_\tau \left(\vartheta_1, \vartheta_2, \frac{j}{2} \right) = j \cdot \bar{u}_\tau^{(j)} (\vartheta_1, \vartheta_2); \quad u_3 \left(\vartheta_1, \vartheta_2, \frac{j}{2} \right) = j \cdot u_3^{(j)} (\vartheta_1, \vartheta_2);$$

$$(\vartheta_1, \vartheta_2) \in S_u^{(j)}. \quad (4)$$

В этих соотношениях $\bar{u}_\tau = u_k \cdot \bar{e}_k$ - двухкомпонентный вектор перемещений; $\tau = \sigma_{km} \cdot \bar{e}_k \cdot \bar{e}_m$ - симметричный четырехкомпонентный тензор напряжений; $\varepsilon = \varepsilon_{km} \cdot \bar{e}_k \cdot \bar{e}_m$ - симметричный четырехкомпонентный тензор деформаций; $\bar{\sigma}_3 = u_k \cdot \bar{e}_k$, $\bar{\varepsilon}_3 = \varepsilon_k \cdot \bar{e}_k$ - вектора касательных напряжений и деформаций на площадках с нормалью $\bar{e}_3 = \bar{k}_3$; $\bar{q}_\tau^{(j)} = q_k^{(j)} \cdot \bar{e}_k$ - двухкомпонентный вектор касательной нагрузки на лицевой поверхности пластины; $\bar{u}_\tau^{(j)} = u_k^{(j)} \cdot \bar{e}_k$ - вектор перемещений точек лицевой поверхности пластины; по индексам $k, m = 1, 2$ подразумевается суммирование; $\bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{k}_3$ - ортонормированные базисные вектора; $\bar{\nabla} = \bar{e}_k \partial_k$ - оператор Гамильтона; $def \bar{u}_\tau = \frac{1}{2} \left(\bar{\nabla} \cdot \bar{u}_\tau + (\bar{\nabla} \cdot \bar{u}_\tau)^T \right)$; $(\dots)^T$ - оператор транспонирования, E - единичный четырехкомпонентный тензор, действие оператора $\bar{\nabla}$ определяется известными правилами [4]; $\sigma_{sn} = \sigma_{sn}(\vartheta_1, \vartheta_2, x_3)$, $\varepsilon_{sn} = \varepsilon_{sn}(\vartheta_1, \vartheta_2, x_3)$, $\tilde{u}_n = h \cdot u_n(\vartheta_1, \vartheta_2, x_3)$ - компоненты тензора напряжений, тензора деформаций и вектора перемещений соответственно; $s = 1, 2, 3$; $\partial_k = \frac{1}{H_k} \cdot \frac{\partial}{\partial \vartheta_k}$; $\partial_3 = \frac{\partial}{\partial x_3}$; $k_{km} = \frac{1}{H_k \cdot H_m} \cdot \frac{\partial H_m}{\partial \vartheta_k}$, $(k \neq m)$ - отличные от нуля кривизны координатных поверхностей; H_k - коэффициенты Ламе в системе $(\vartheta_1, \vartheta_2, x_3)$; G, ν - модуль сдвига и коэффициент Пуассона соответственно; α - коэффициент температурного расширения материала.

Начинаем осреднение уравнений теории упругости (1) – (4), как обычно, с введения обобщенных усилий по известному правилу

$$T(\vartheta_1, \vartheta_2) = T_{(km)}(\vartheta_1, \vartheta_2) \bar{e}_1 \bar{e}_2 = \left\| \begin{matrix} T_{km}(\vartheta_1, \vartheta_2) \\ M_{km}(\vartheta_1, \vartheta_2) \end{matrix} \right\| = \int_{-1/2}^{1/2} \left\| \begin{matrix} 1 \\ x \end{matrix} \right\| \tau(\vartheta_1, \vartheta_2, x) dx;$$

$$\vec{T}_3(\vartheta_1, \vartheta_2) = \int_{-1/2}^{1/2} \vec{\sigma}_3(\vartheta_1, \vartheta_2, x) dx, \quad (5)$$

где: $T(\vartheta_1, \vartheta_2)$ - четырехкомпонентный симметричный тензор обобщенных сил, компоненты которого $T_{(km)}(\vartheta_1, \vartheta_2)$ - матрицы столбцы второго порядка; $k, m = 1, 2$; $\vec{T}_3(\vartheta_1, \vartheta_2)$ - вектор касательных усилий в плоскости пластины.

Пользуясь этими определениями (5), непосредственно из уравнений (1) с учетом условий (3) получаем уравнения равновесия пластины в форме

$$\vec{\nabla} T - \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \vec{T}_3 + \begin{Bmatrix} |i| \\ i/2 \end{Bmatrix} \vec{q}_\tau^{(i)} = 0; \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{T}_3 + |i| q_3^{(i)} = 0. \quad (6)$$

Здесь и в дальнейшем индекс i принимает значения ± 1 и является индексом суммирования.

Основные напряжения $\tau = \sigma_{km} \cdot \vec{e}_k \cdot \vec{e}_m$, ($k, m = 1, 2$), аналогично тому, как это было предложено для случая только изгиба А.Л.Гольденвейзером, представлены в виде

$$\tau(\vartheta_1, \vartheta_2, x_3) = \ddot{Z}(x_3) \cdot T(\vartheta_1, \vartheta_2), \quad (7)$$

где $Z(x_3) = \begin{Bmatrix} Z_1(x_3) & Z_2(x_3) \end{Bmatrix}$ - матрица-строка произвольных функций, точки над произвольными функциями $Z_k(x_3)$ обозначают производные по поперечной координате x_3 .

Выражения остальных компонент напряжений получим путем интегрирования уравнений равновесия (1) по переменной x_3 с учетом условий (3). Используя представление (7), а также и выражения $\vec{\nabla} T$ и $\vec{\nabla} \cdot \vec{T}_3$ из уравнений равновесия (6) находим

$$\vec{\sigma}_3(\vartheta_1, \vartheta_2, x_3) = -\dot{Z}_2(x_3) \cdot \vec{T}_3 + \dot{Z}_1^{(i)}(x_3) \cdot \vec{q}_\tau^{(i)}; \quad (8)$$

$$\sigma_{33}(\vartheta_1, \vartheta_2, x_3) = -Z_2^{(i)}(x_3) \cdot q_3^{(i)} - Z_1^{(i)}(x_3) \vec{\nabla} \cdot \vec{q}_\tau^{(i)}, \quad (9)$$

где обозначено

$$Z^{(i)}(x_3) = \begin{Bmatrix} Z_1^{(i)}(x_3) & Z_2^{(i)}(x_3) \end{Bmatrix} = Z(x_3) \cdot \begin{Bmatrix} 1 & 0 \\ i/2 & 1 \end{Bmatrix} - \left\| x_3 + \frac{1}{2} \quad -1 \right\| \cdot \delta_{i,-1};$$

$$\delta_{i,-1} = \frac{1-i}{2}. \quad (10)$$

Обобщенные перемещения (средние по толщине пластины перемещения $V_k = V_k(\vartheta_1, \vartheta_2)$ и углы поворотов $\gamma_k = \gamma_k(\vartheta_1, \vartheta_2)$) в отличие от известных способов [1], [2] вводим следующим образом

$$\begin{aligned} \vec{V}_{(\tau)}(\vartheta_1, \vartheta_2) &= \int_{-1/2}^{1/2} \omega(x) \vec{u}_{\tau}(\vartheta_1, \vartheta_2, x) dx = V_{(k)}(\vartheta_1, \vartheta_2) \cdot \vec{e}_k; \\ V_{(k)}(\vartheta_1, \vartheta_2) &= \begin{bmatrix} V_k(\vartheta_1, \vartheta_2) \\ \gamma_k(\vartheta_1, \vartheta_2) \end{bmatrix}; \\ V_3(\vartheta_1, \vartheta_2) &= - \int_{-1/2}^{1/2} \omega_2(x) u_3(\vartheta_1, \vartheta_2, x) dx. \end{aligned} \quad (11)$$

Здесь $\omega(x_3)$ - матрица - столбец произвольных функций $\omega_1(x_3), \omega_2(x_3)$, не связанная с матрицей функций $Z(x_3)$. Точки над $\omega(x_3)$ означают производные по x_3 .

Осредняя закон Дюгамеля - Неймана (2) с весами $\omega(x_3)$ и их производными с учетом соотношений (3), (6), (7), (8), (9), (11) получаем

- соотношения упругости

$$\begin{aligned} def \vec{V}_{(\tau)} &= \frac{b_{(1)}}{2G} \mathbf{T} - \frac{\nu}{2(1+\nu)G} \left(b_{(1)} \cdot T_{(0)} + \pi_{(1)}^{(i)} \cdot \left\| \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{q}_{\tau}^{(i)}}{q_3^{(i)}} \right\| \right) \mathbf{E} + \omega\left(\frac{1}{2}\right) \cdot \alpha \cdot t \mathbf{E} \\ \vec{\nabla} V_3 + \left\| \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \vec{V}_{(\tau)} \right\| &= \frac{b}{G} \vec{T}_3 - \frac{1}{G} \pi_3^{(i)} \vec{q}_{\tau}^{(i)}; \quad T_{(0)} = T_{(11)} + T_{(22)}, \end{aligned} \quad (12)$$

- соотношения, связывающие перемещения точек лицевых поверхностей с обобщенными усилиями и перемещениями, а также нагрузками на лицевых поверхностях (соотношения контакта)

$$\begin{aligned} \vec{u}_{\tau}^{(j)} &= \left\| \begin{bmatrix} 1 & \frac{j}{2} \end{bmatrix} \cdot \vec{V}_{(\tau)} + \frac{\nu \cdot \alpha_{(1k)}^{(j)}}{2(1+\nu)G} \vec{\nabla} T_{(0)} - \frac{\alpha_{13}^{(j)}}{G} \vec{T}_3 + \frac{\lambda_1^{(j,i)}}{G} \vec{q}_{\tau}^{(i)} - \right. \\ &\quad \left. \frac{\lambda_{(1k)}^{(j,i)}}{2(1+\nu)G} \vec{\nabla} \left\| \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{q}_{\tau}^{(i)}}{q_3^{(i)}} \right\| + \lambda_{\tau}^{(j)} \alpha \vec{\nabla} t; \right. \end{aligned}$$

$$u_3^{(j)} = V_3 - \frac{\nu \cdot \alpha_{(3k)}^{(j)}}{2(1+\nu)G} T_{(0)} + \frac{\lambda_{(3k)}^{(j,i)}}{2(1+\nu)G} \left\| \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{q}_r^{(i)}}{q_3^{(i)}} \right\| - \lambda_n^{(j)} \alpha t. \quad (13)$$

Замкнутая система уравнений (6), (12), (13) определяет обобщенную теорию пластин. Уравнения (12), (13) по форме совпадают с уравнениями, приведенными в [2]. Отличие состоит в наличии членов, содержащих изменение температуры t и произвольности коэффициентов, поскольку они выражаются через матрицы произвольных функций $\omega_i(x_3)$ и $Z_i(x_3)$ по формулам

$$\begin{aligned} b_{(1)} &= \int_{-1/2}^{1/2} \ddot{\omega}(x) \cdot \ddot{Z}(x) dx; & b &= \int_{-1/2}^{1/2} \dot{\omega}_2(x) \cdot \dot{Z}_2(x) dx; \\ \pi_3^{(i)} &= \int_{-1/2}^{1/2} \dot{\omega}_2(x) \cdot \dot{Z}_1^{(i)}(x) dx; & \pi_{(1)}^{(i)} &= \int_{-1/2}^{1/2} \ddot{\omega}(x) \cdot \left\| Z_1^{(i)}(x) \quad Z_2^{(i)}(x) \right\| dx; \\ \alpha_1 &= \int_{-1/2}^{1/2} \dot{\omega}_1(x) \cdot \dot{Z}_1(x) dx; & \alpha_{(1)}^{(j)} &= - \int_{-1/2}^{1/2} \omega^{(j)}(x) \cdot \ddot{Z}^{(i)}(x) dx; \\ \lambda_{(1)}^{(j)} &= \int_{-1/2}^{1/2} \omega^{(j)}(x) \cdot Z^{(i)}(x) dx; & \lambda_\tau^{(j)} &= \int_{-1/2}^{1/2} \omega_1^{(j)}(x) dx; \\ \lambda_1^{(j,i)} &= \int_{-1/2}^{1/2} \dot{\omega}_1^{(j)}(x) \cdot \dot{Z}_1^{(i)}(x) dx; & \lambda_n^{(j)} &= \int_{-1/2}^{1/2} \omega_2^{(j)}(x) dx. \end{aligned} \quad (14)$$

На основании тождественности выполнимости теоремы Бетти и условий инвариантности уравнений теории пластин по отношению к выбору системы координат доказано, что все коэффициенты уравнений теории выражаются через восемь независимых констант

$$a_{11}; a_{22}; \beta_{11}; \beta_{22}; c_{11}; c_{22}; m_{12}; m_{21}, \quad (15)$$

какими бы ни были функции $\omega_i(x_3)$, $Z_i(x_3)$, следующим образом

$$b_{(1)} = \left\| \begin{matrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{matrix} \right\|; \pi_{(1)}^{(i)} = \left\| \begin{matrix} \beta_{11} - \frac{1}{4} & \frac{i}{2} \\ \frac{i}{2}(\beta_{22} - 1) & \beta_{22} \end{matrix} \right\|;$$

$$\lambda_{(1)}^{(j,i)} = \left\| \begin{array}{cc} c_{11} + \frac{m_{12}}{2} + \frac{ji}{4} \left(c_{22} + 2m_{21} + \frac{1}{12} \right) & \frac{j}{2} (c_{22} + m_{21}) + \frac{i}{2} m_{12} \\ \frac{i}{2} (c_{22} + m_{21}) + \frac{j}{2} m_{12} & c_{22} + \frac{ji}{4} \end{array} \right\|;$$

$$b = \beta_{22}; \pi_3^{(i)} = \pi_{31}^{(i)} = \frac{i}{2} (\beta_{22} - 1); \alpha_1^{(j)} = \pi_3^{(j)} = \alpha_{13}^{(j)} = \frac{j}{2} (\beta_{22} - 1); \alpha_{(1)}^{(j)} = \pi_{(1)}^{(j)T};$$

$$\lambda_1^{(j,i)} = \beta_{11} - \frac{1}{4} + \frac{ij}{4} (\beta_{22} - 1); \lambda_r^{(j)} = -m_{12}; \lambda_n^{(j)} = -\frac{j}{2}. \quad (16)$$

Восемь независимых констант связаны с функциями $\omega_i(x_3)$, $Z_i(x_3)$ формулами

$$\begin{aligned} a_{11} &= \int_{-1/2}^{1/2} \ddot{\omega}_1(x) \cdot \ddot{Z}_1(x) dx; & a_{22} &= \int_{-1/2}^{1/2} \ddot{\omega}_2(x) \cdot \ddot{Z}_2(x) dx; \\ \beta_{11} &= \int_{-1/2}^{1/2} \dot{\omega}_1(x) \cdot \dot{Z}_1(x) dx; & \beta_{22} &= \int_{-1/2}^{1/2} \dot{\omega}_2(x) \cdot \dot{Z}_2(x) dx; \\ c_{11} &= \int_{-1/2}^{1/2} \omega_1(x) \cdot Z_1(x) dx - \frac{1}{12}; & c_{22} &= \int_{-1/2}^{1/2} \omega_2(x) \cdot Z_2(x) dx - \frac{1}{4}; \\ m_{12} &= - \int_{-1/2}^{1/2} Z_1(x) dx + \frac{1}{4} = - \int_{-1/2}^{1/2} \omega_1(x) dx + \frac{1}{4}; \\ m_{21} &= \int_{-1/2}^{1/2} x Z_2(x) dx = \int_{-1/2}^{1/2} x \omega_2(x) dx. \end{aligned} \quad (17)$$

Справедливо и обратное утверждение: если назначить константы (15), то из уравнений (14), (16) можно определить функции $\omega_i(x_3)$, $Z_i(x_3)$ с точностью до полиномов пятого и седьмого порядков соответственно.

Таким образом, вопрос построения обобщенной теории пластин сводится к выработке критерия для определения указанных восьми констант.

Для установления критерия определения констант в контактных задачах система уравнений (6), (12), (13) приводится к дифференциальным соотношениям относительно нагрузки на лицевых поверхностях путем исключения переменных состояния из

контактных соотношений. Эта система разделена на два независимые вида:

$$\left(\Lambda_{(1)}^{(j,i)} \Delta^2 - 2B_{(1)}^{(j,i)} \Delta + A_{(1)}^{(j,i)} \right) \left\| \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{q}_\tau^{(i)}}{q_3^{(i)}} \right\| = \frac{2G}{1-\nu} \nabla \left(\left\| \frac{\vec{\nabla} \cdot \vec{u}_\tau^{(i)}}{u_3^{(i)}} \right\| - \left(D_{(1)}^{(j)} \Delta - \left\| \begin{matrix} 1 + \nu \\ 0 \end{matrix} \right\| \right) \cdot \alpha \cdot t \right), \quad (18)$$

$$\left(\Lambda_2^{(j,i)} \Delta^2 - 2B_2^{(j,i)} \Delta + A_2^{(j,i)} \right) (\vec{\nabla} \times \vec{q}_\tau^{(i)}) \cdot \vec{k}_3 = G \left(\Delta - \frac{a_{22}}{\beta_{22}} \right) \Delta (\vec{\nabla} \times \vec{u}_\tau^{(i)}) \cdot \vec{k}_3, \quad (19)$$

коэффициенты которых $\Lambda_{(1)}^{(j,i)}, \Lambda_2^{(j,i)}, B_{(1)}^{(j,i)}, B_2^{(j,i)}, A_{(1)}^{(j,i)}, A_2^{(j,i)}, D_{(1)}^{(j)}$ определенным образом выражаются через константы.

Если задать на j -ой лицевой поверхности перемещения $\vec{u}_\tau^{(j)}, u_3^{(j)}$, то нагрузку $\vec{q}_\tau^{(j)}, q_3^{(j)}$ на этой стороне $i = j$ следует рассматривать как контактное взаимодействие, а соотношения (18), (19) – как дифференциальные уравнения относительно этого взаимодействия.

Для негладкой нагрузки использовалось условие непередачи разрывов в нагрузке в контактное взаимодействие. Это условие будет выполнено, если потребовать, чтобы порядок дифференциальных уравнений (18), (19) относительно контактного взаимодействия был бы выше порядка относительно нагрузки, то есть, наложить условие

$$\Lambda_{(1)}^{(j,-j)} = 0; \quad \Lambda_2^{(j,-j)} = 0. \quad (20)$$

Первое из условий (20) накладывает связи на константы, в результате чего для системы (18) из восьми независимых констант остается только пять. Аналогично, второе из условий (20) накладывает еще одну связь и для уравнения (19) из четырех входящих в него независимых констант $a_{11}, a_{22}, \beta_{11}, \beta_{22}$ остается – три. Для определения остальных констант использовалось условие минимизации невязки операторных выражений перемещений в области контакта по теории пластин и теории упругости. В результате такого подхода были получены следующие значения независимых констант:

$$a_{11} = 1; \quad a_{22} = 12; \quad \beta_{11} = 0,337; \quad \beta_{22} = 1,096; \quad c_{11} = -0,042 + 0,058\nu^2; \\ c_{22} = 0,25 + 0,15 \cdot \nu^2; \quad m_{12} = 0,115 - 0,028 \cdot \nu^2; \quad m_{21} = -0,135 + 0,044 \cdot \nu^2 \quad (21)$$

и коэффициентов

$$\Lambda_{11}^{(j,j)} = 0,0315; \Lambda_{13}^{(j,j)} = \Lambda_{31}^{(j,j)} 0,115j; \Lambda_{33}^{(j,j)} = 0,5, \Lambda_{(1)}^{(j,-j)} = 0. \quad (22)$$

Полученные значения коэффициентов (22) совпадают со значениями этих коэффициентов, приведенными в работе [5].

Применение полученных уравнений к решению одномерных контактных задач. Уравнения обобщенной теории пластин (6), (15) и контактные соотношения (16) при одномерном состоянии ($\partial_2(\dots) = 0$) разделяются на уравнения и соотношения контакта первого состояния относительно переменных $V_{(1)}; V_3; T_{(11)}; T_{(22)}; T_{13}; u_1^{(j)}; u_3^{(j)}$ и на уравнения и соотношения контакта второго состояния относительно переменных $V_{(2)}; T_{(12)}; T_{23}; u_2^{(j)}$. Плоская деформация пластины (растяжение – сжатие с изгибом) описывается уравнениями первого состояния в декартовых координатах $\mathcal{G}_1 = x, x_3$, $H_i = 1 (i = 1, 2), k_{12} = 0$.

В качестве примера рассмотрим деформацию негладкой пластины в температурном поле (изменение температуры t) толщины h и ширины $2l$, зажатой между плоскими штампами так, что заданы их поступательные перемещения W (рис. 1). Исследуем следующий симметричный процесс: пусть сначала пластина была обжата штампами путем задания их поступательного перемещения $\pm W$, а затем температурное поле t изменялось, оставаясь постоянным по толщине и ширине пластины.

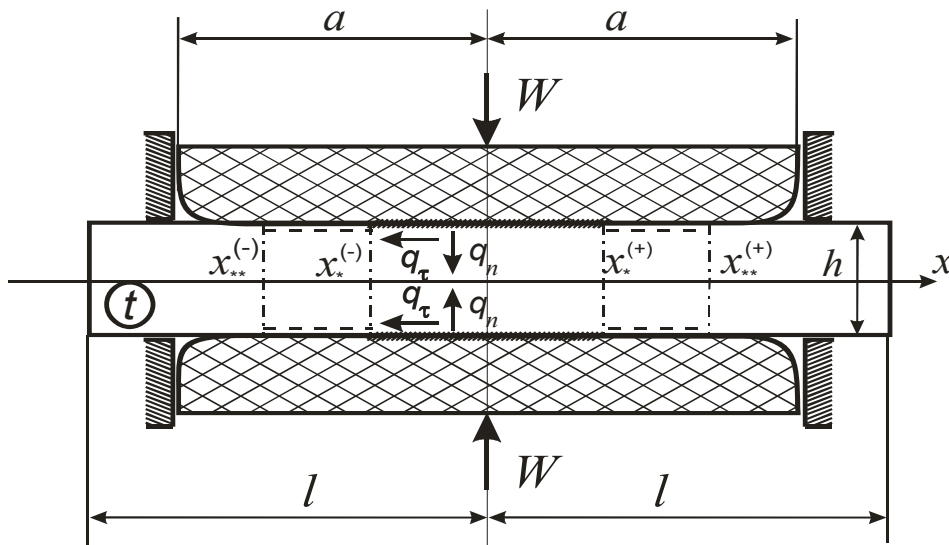


Рисунок 1

Поскольку между штампами и пластиной негладкий контакт, действие штампов на пластину описывается двумя функциями продольной координаты x : $q_r(x)$ (касательное контактное взаимодействие) и $q_n(x)$ (нормальное контактное взаимодействие), одинаковыми на обеих лицевых поверхностях пластины, ввиду симметрии задачи относительно x . Ввиду этой же симметрии имеем только две отличные от нуля переменные состояния пластины: $N = T_{11}(x)$ - продольные усилия в пластине, $V = V_1(x)$ - осредненные по толщине пластины продольные перемещения.

Краевые условия имеют вид

$$\begin{aligned} q_1^{(-1)}(x) &= -q_r(x); \quad q_3^{(-1)}(x) = q_n(x); \quad u_3^{(-1)}(x) = W; \quad N(-l) = 0; \\ q_1^{(+1)}(x) &= -q_r(x); \quad q_3^{(+1)}(x) = -q_n(x); \quad u_3^{(+1)}(x) = -W; \quad N(l) = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

С учетом обозначений: $u_r^{(j)} = u_1\left(x, \frac{jh}{2}\right)$, $u_n^{(j)} = u_3\left(x, \frac{jh}{2}\right)$ -

касательные и нормальные перемещения точек лицевых поверхностей пластины соответственно; $j = \mp 1$ - верхняя и нижняя поверхности пластины соответственно, уравнения (6), (12), (13) при постоянном значении t примут вид:

$$\frac{dN}{dx} = 2 \cdot q_r; \quad \frac{dV}{dx} = \frac{1-\nu}{2G} N + \frac{\nu}{2G} \left(2 \left(b - \frac{1}{4} \right) \cdot \frac{dq_r}{dx} + q_n \right) + (1+\nu) \cdot \alpha \cdot t; \quad (24)$$

$$u_r^{(j)} = V - \frac{2-\nu}{G} \cdot \left(b - \frac{1}{4} \right) \cdot q_r + \frac{1-\nu}{2G} \cdot \left(\lambda_{rr} \cdot \frac{d^2 q_r}{dx^2} + \lambda_{rn} \cdot \frac{dq_n}{dx} \right);$$

$$u_n^{(j)} = j \cdot \left(\frac{\nu}{4G} \cdot N + \frac{1-\nu}{2G} \left(\lambda_{nr} \frac{dq_r}{dx} + \lambda_{nn} \cdot q_n \right) - \frac{1}{2} (1+\nu) \cdot \alpha \cdot t \right). \quad (25)$$

Здесь $u_r^{(j)} = u_r\left(x, \frac{jh}{2}\right)$, $u_n^{(j)} = u_n\left(x, \frac{jh}{2}\right)$ - касательные и

нормальные перемещения точек лицевых поверхностей пластины соответственно; $j = \mp 1$ - верхняя и нижняя поверхности пластины соответственно;

$$\begin{aligned} b &= 0,337, & \lambda_{rr} &= \Lambda_{11}^{(j,+1)} + \Lambda_{11}^{(j,-1)} = 0,0315, \\ \lambda_{rn} &= \left(\Lambda_{13}^{(j,+1)} - \Lambda_{13}^{(j,-1)} \right) / j = \lambda_{nr} = 0,115, & \lambda_{nn} &= \Lambda_{31}^{(+1,+1)} + \Lambda_{31}^{(+1,-1)} = 0,5 \end{aligned}$$

- коэффициенты, соответствующие рассматриваемому классу задач.

В каждой точке под штампом возможно одно из трех состояний: сцепление, проскальзывание с трением или отставание.

В области сцепления $x \in (x_*^{(-)}, x_*^{(+)})$ имеют место условия:

$$u_\tau^{(j)} = 0; u_n^{(j)} = -jW. \quad (26)$$

В области проскальзывания с трением вправо $x \in (x_{**}^{(-)}, x_*^{(-)}) \cup (x_*^{(+)}, x_{**}^{(+)})$:

$$q_\tau = f \cdot q_n \geq 0; u_n^{(j)} = -jW, \quad (27)$$

где f - коэффициент трения – скольжения.

В области отставания $x \in (-a_u, x_{**}^{(-)}) \cup (x_{**}^{(+)}, a_u)$:

$$|u_n^{(j)}| > W; q_\tau \equiv 0; q_n \equiv 0. \quad (28)$$

Исключая переменные состояния N , V из контактных соотношений (25) путем их дифференцирования с использованием уравнений (24) при условиях (26) – (28) получаем разрешающие уравнения относительно контактных взаимодействий q_τ , q_n с краевыми условиями на них:

- в области сцепления

$$\begin{aligned} \frac{d^4 q_\tau}{dx^4} - 2A_c \frac{d^2 q_\tau}{dx^2} + B_c^2 q_\tau &= 0; V = -\frac{1-\nu}{G} \Lambda \left(\frac{d^2 q_\tau}{dx^2} - D_c q_\tau \right); \\ q_n &= \frac{4(1-\nu)GW}{1-2\nu} + \frac{2\nu}{(1-\nu)B_c^2} \left(\frac{d^2 q_\tau}{dx^2} - 2(A_c + C_c) \frac{dq_\tau}{dx} \right) + \frac{2G \cdot (1+\nu)}{1-2\nu} \cdot \alpha \cdot t; \\ N &= -\frac{2}{B_c^2} \left(\frac{d^3 q_\tau}{dx^3} - 2A_c \frac{dq_\tau}{dx} \right) + \frac{2\nu GW}{1-2\nu} - \frac{2G \cdot (1+\nu)}{1-2\nu} \alpha \cdot t, \end{aligned} \quad (29)$$

- в области предельного состояния проскальзывания с трением

$$\begin{aligned} \frac{d^2 q_\tau}{dx^2} - 2A_T \frac{dq_\tau}{dx} + B_T^2 q_\tau &= 0; \\ \frac{dq_\tau}{dx} + 2A_T q_\tau &= \frac{2GW}{(1-\nu)\lambda_{nr}} \left(1 - \frac{\nu N}{4GW} \right) + \frac{1+\nu}{1-\nu} G \alpha t; \\ q_n = \frac{q_\tau}{f}; V - u_\tau^{(+)} &= \frac{\Lambda(1-\nu)}{2fG\lambda_{nr}} \left(\frac{dq_\tau}{dx} - D_T q_\tau \right); \end{aligned} \quad (30)$$

В формулах (29), (30) коэффициенты A_c , A_T , B_c , B_T , C_c , D_c , D_T , Λ выражаются через коэффициент Пуассона, модуль сдвига,

коэффициент трения – скольжения, а также коэффициенты b , $\lambda_{\tau\tau}$, $\lambda_{\tau n}$, $\lambda_{n\tau}$, λ_{nn} .

Непосредственно из соотношений (25) с учетом условий (28) следует, что отставание по всей области контакта наступает при выполнении условия

$$\frac{\alpha \cdot t}{W} \leq -\frac{2}{1 + \nu} \quad (31)$$

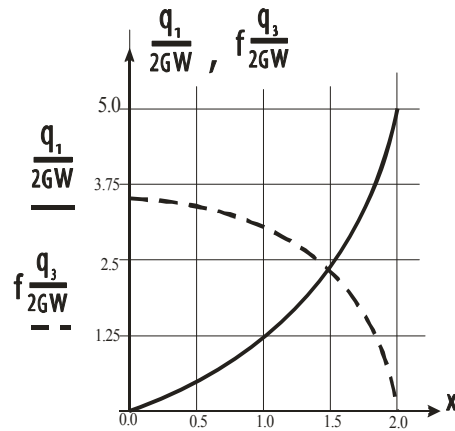


Рисунок 2

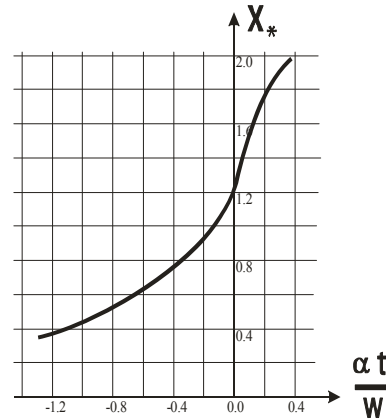
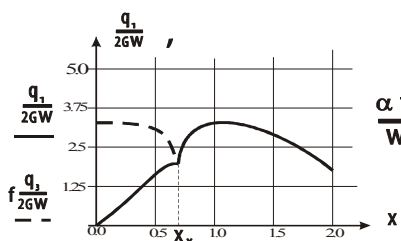
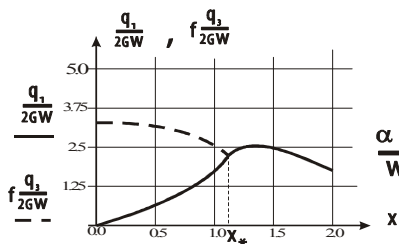


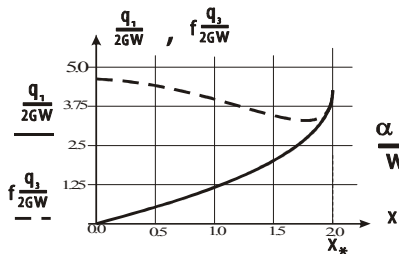
Рисунок 3



$$\frac{\alpha t}{W} = -0.47$$



$$\frac{\alpha t}{W} = 0.0$$



$$\frac{\alpha t}{W} = 0.28$$

Рисунок 4

Ввиду симметрии задачи относительно плоскости $x = 0$, достаточно ограничиться рассмотрением лишь правой половины пластины $0 \leq x \leq a$, где a — полуширина области контакта, которую несмотря на скругление штампов будем приближенно считать равной полуширине штампа.

Начнем с определения возможности одновременного образования областей сцепления и проскальзывания в области контакта. С этой целью вначале предположим сцепление по всей области контакта. Из-за симметрии относительно плоскости $x = 0$ общий интеграл системы (29)

имеет две произвольные константы, которые удобно выразить через $N(x_*^{(+)})$, $q_r(x_*^{(+)})$. В этом случае $N(x_*^{(+)}) = 0$, а $q_r(x_*^{(+)})$ определяется из условия $q_n(x_*^{(+)}) = 0$. Результат вычисления контактных взаимодействий $q_r(x)$, $q_n(x)$ при параметрах $t = 0$; $a = 2$; $\nu = 0,45$; $f = 0,4$ на рисунке 2. Как видно, в области $1,5 < |x| < 2$ оказывается, что $|q_r(x)| > f \cdot |q_n(x)|$, то есть имеет место тенденция к проскальзыванию по краям области контакта.

Теперь допустим наличие в области контакта двух состояний и обозначим через x_* точку перехода от сцепления к проскальзыванию. Область проскальзывания описывается системой (30). Общий интеграл этой системы содержит две произвольные константы, которые удобно выразить через $N(x_*^{(+)})$, $N(x_{**}^{(+)})$. Используя краевое условие $N(x_{**}^{(+)}) = N(a) = 0$ и условие сопряжения $N(x_* - 0) = N(x_* + 0) = N_*$, получим выражения $q_r(x)$, $q_n(x)$, $V(x)$, содержащие три константы q_* , N_* и x_* . Для определения последних используем условия непрерывности функций $V(x)$ и $u_r^{(j)}(x)$ в точке $x = x_*$, а также дополнительные условия контактного взаимодействия $|q_r(x_* + 0)| = |q_r(x_* - 0)| = f \cdot |q_n(x_* - 0)|$. На рисунке 3 для параметров $a = 2$; $\nu = 0,45$; $f = 0,4$ представлена зависимость величины области сцепления x_* от величины $\frac{\alpha \cdot t}{W}$, а на рисунке 4 распределение контактного взаимодействия при $\frac{\alpha \cdot t}{W} = -0,47; 0,0; 0,289$.

Выводы

1. Построена уточненная теория пластин, находящихся в стационарном температурном поле, приемлемая для решения контактных задач по лицевым поверхностям.

2. На основе полученных уравнений рассмотрена деформация негладкой пластины в температурном поле, зажатой между плоскими штампами. Исследован симметричный процесс, когда сначала пластина была обжата штампами путем задания их поступательного

перемещения $\pm W$, а затем температурное поле t изменялось оставаясь постоянным по толщине и ширине пластины. Установлено, что в начале процесса, когда $t = 0$, точка смены состояний x_* сцепления и проскальзывания с трением не зависит от интенсивности обжатия W . При уменьшении t область сцепления уменьшается и при величине $\frac{\alpha \cdot t}{W} = \frac{2}{1 + \nu}$ исчезает. При этом вместе с областью сцепления скачком исчезает и область проскальзывания, то есть пластина переходит в состояние полного отставания. При увеличении t область проскальзывания уменьшается до наступления полного сцепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.В., Лурье С.А. К проблеме построения неклассических теорий пластин // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. – 1990. – №2. – С. 158-167.
2. Григолюк Э.И., Толкачев В.М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. М.: Машиностроение, 1980.
3. Власов В.З. Избранные труды, т.1, М.: издательство академии наук СССР, 1962.
4. Лурье А.И. Теория упругости. – М., 1970.
5. Наумова И.Ю. Исследование зависимости характера взаимодействия пластины со сжимающими ее штампами от значений торцевых нагрузок // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Том 4. Дніпропетровськ. 2010. С. 11-22.

Получено 27.10.2010г.

УДК 539.2

G. Gershteyn, T. Golosova, M. Schaper, D. Gerstein, D. Lychagin,
Fr.-W. Bach

THE POSSIBLE MECHANISM OF SLIP BAND FORMATION

Annotation. An investigation of the deformation relief, which is an important characteristic of plastic deformation, is carried out. Despite of the large amounts of accumulated data published regarding the mechanisms of deformation relief there are still many open questions. This paper proposes some possible new mechanisms for the formation of slip bands. It is shown that the distribution of gliding in the parallel slip plane is possible as a result of the interaction of slipping dislocations with forest dislocations. Images of the deformation relief were taken. The proposed mechanism correlates with experimental data of the formation of the deformation relief.

Keywords: dislocation mechanism, deformation relief, dislocation interaction, slip line, double cross slip

Introduction

An important characteristic of plastic deformation is the deformation relief, whose study has a long history. Despite of the large amount of accumulated data [1, 2, 3, 4], there are still many questions in understanding the mechanisms of deformation relief.

It is known that at low dislocation densities in the crystal, dislocations are arranged in the form of Frank nets. The separate elements of Frank nets lie in different planes. Besides, there may be other dislocations in the crystal. When the strength, applied to the crystal, is higher than yield stress, the net elements located in the planes with maximum shear stress start to slide, to bend and to form dislocation loops by the mechanism of Frank-Read. If several loops were formed in the slip plane, their interaction results in a single dislocation loop which reaches the surface (Fig. 1). Several generated loops form a slip line on the surface.

Several closely placed slip lines form a slip band. Furthermore, several mechanisms of formation can be observed. The aim of this paper is to define the reason why the slip lines forming slip bands are grouped instead of spreading in regular intervals on the surface (Fig. 2).

© Gershteyn G., Golosova T., Schaper M., Gerstein D., Lychagin D.,
Fr.-W. Bach, 2010

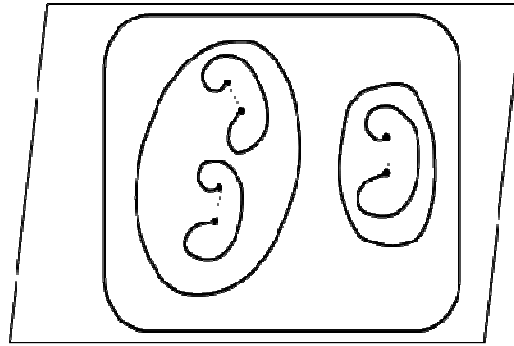


Fig. 1 - Several dislocation loops in the slip plane result in a single loop

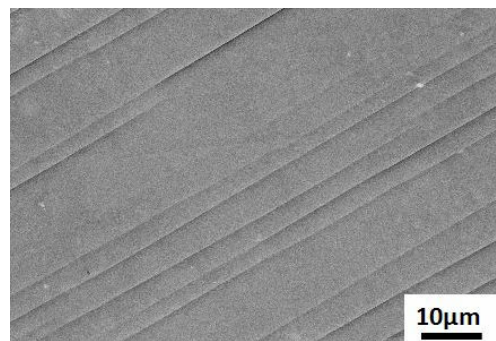


Fig. 2 - SEM image several closely spaced slip lines form slip bands,
compression in aluminum single crystal at $\varepsilon = 0.043$,
strain rate $4 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

Proposed mechanism of the glide propagation into parallel slipping planes

The known mechanism of glide propagation into parallel slipping planes is a double cross slip. Also, other mechanisms are possible. The slip plane of dislocation loops crosses the dislocations located in other slip systems, which are of different types and Burger's vectors. Typically, that kind of dislocation is called forest dislocation. These may be mobile or less-mobile for an applied strength. The slipping dislocation loops interact with these dislocations. These dislocations are interacting with dislocation loops, forming thresholds and bands depending on the direction of their Burger's vector [5]. The bends are located in the plane of dislocation glide and might annihilate. The creation of thresholds is accompanied by a shift of a part of the dislocation loop into the parallel slip plane. This shift is equal to the Burger's vector of the forest dislocation (Fig.3).

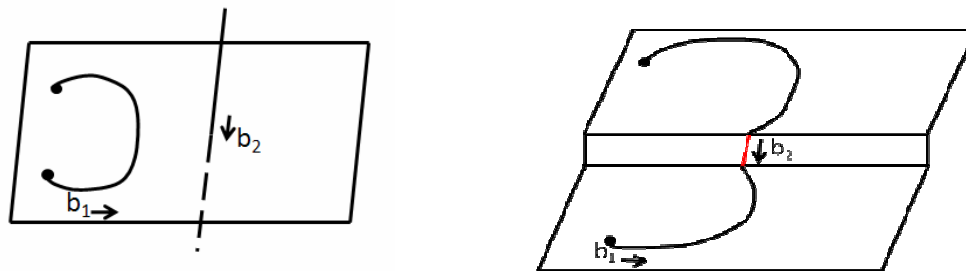


Fig. 3 - Formation of a threshold on the sliding dislocation segment, resulting in a share of one part of the segment into parallel slipping plane; left: a segment before its interaction with the forest dislocation; right: a segment after interaction with the forest dislocation

Since the threshold is located in a plane different from the slip plane of the loop, its speed is much lower than the speed of the loop. This results in a well-coordinated movement of dislocations, similar in type and Burger's vector, which move in parallel planes at distances between these planes that are equal to the Burger's vector of the forest dislocation. Thus, a new source of dislocations is created in a new slip plane. This source generates a further dislocation loop under the influence of the applied strength. This loop crosses the same forest dislocations, interacting with them, and again a part of the loop is shifted into a parallel plane. This way the sliding spreads within the closely placed parallel planes. Presumably, the dislocations follow each other within the parallel planes. Moreover a system of well-coordinated dislocation sources is created in parallel planes. This system leads to the formation of new closely spaced slip bands. If a Frank-Read source emits about 10 to 80 loops, the slip band width formed should be in the range of 4 nm to 80 nm.

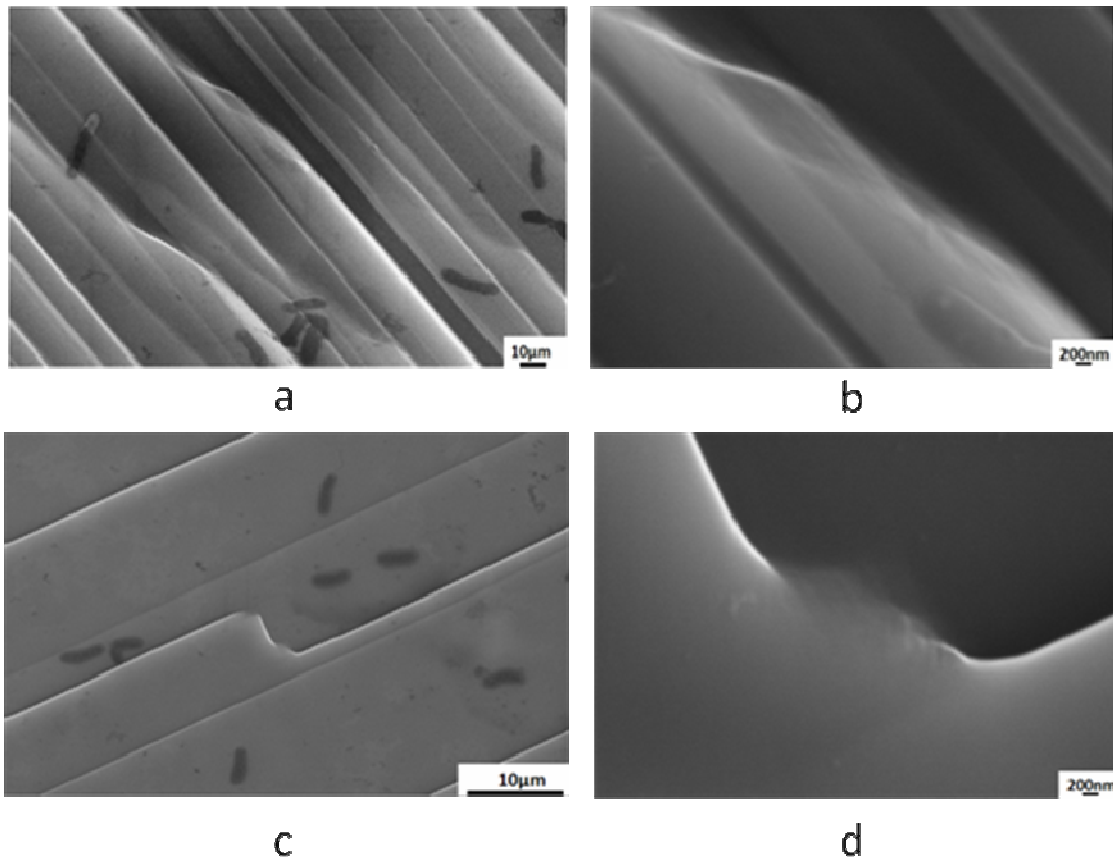


Fig. 4 – SEM image of deformed relief on the sample surface after uniaxial compression in aluminum single crystal at $\epsilon = 0.05$, strain rate $4 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$; a, c - the overall picture of the slip; b, d - slip microstructure elements

The comparison of offered mechanism with mechanism of double cross slip

The higher the deformation, the higher is the amount of the secondary slip planes. The forest dislocation density increases. The density of forest dislocations might positively influence the width of the slip band. Experiments show that the gliding lines occur in groups parallel to each other. These lines occur in a lamellar formation. The dislocation segment that glided into the parallel plane by the threshold creation is much longer than in the case of a cross slip. The longer the dislocation segment, the less stress is needed for this segment to form loops according to the Frank-Reed mechanism. Therefore, the dislocation segments, placed into the parallel planes during the formation of the threshold, need less time to create dislocation loops and slip lines under the applied stress than in case of double cross slip.

Experimental observations

The figure 4 shows that two different kinds of gliding occurred. The first one is a clear transaction of the slip line in a new plane. This transaction might be caused by a cross slip. The second one is a smooth, gradual transaction of a slip line in a new plane. This process described above might enable this transaction. The proofs for this process can only be provided by high resolution transmission electron microscopy.

Conclusions

Presumably, both the mechanism of double sliding and the offered mechanism take place at plastic deformation. Additional researches are necessary to define relevance and localization of the offered mechanism and the mechanism of cross-section sliding.

Acknowledgements

The results presented here were determined within the framework of the project cluster (PAK250) "Identification and modeling of material characteristics for the Finite Element Analysis of sheet forming processes" in the sub project TP5 supported by German Research Foundation (DFG).

LITERATURE

1. Mader, S. Elektronenmikroskopische Untersuchung der Gleitlinienbildung auf Kupfereinkristallen, Zeitschrift für Physik, 149(1977), pp. 73-102
2. Neuhauser, H. Dislocation in Solids, Ed. By F.R.N. Nabarro, North-Holland Publ., 6(1983), pp. 319
3. Kuhlmann-Wilsdorf, D. Theory plastic deformation: properties of low energy dislocation structure, Mater. Sci. and Eng, A113(1989), pp. 1–41
4. Lychagin, D.V.; Starenchenko, V.A.; Solov'eva, Yu.V. Classification and the scale hierarchy of structural elements of the deformation of bcc monokristall, Physical mesomechanic, 8(2005), 6, pp. 67-77
5. Novikov, I.I.: Defects in the crystal structure metallo, Moskva, Metallurgy, 197

Received 29.10.2010r.

УДК 004.652.5

Л.Д. Чумаков

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМУ ПОТЕНЦИАЛУ

Аннотация. Обсуждаются вопросы состояния научно-технического потенциала страны и Приднепровского региона, привлечения его к решению региональных проблем, разработки автоматизированной информационной системы по научно-техническому потенциалу.

Введение

Курс на развитие экономики Украины с разработкой и внедрением инновационной модели был провозглашен на государственном уровне в 2002 году в Послании Президента Украины к Верховной Раде Украины [1].

По мнению ученых [2] можно выделить три стратегии инновационного развития:

- перенесения – состоит в освоении зарубежного научно-технического потенциала и перенесения его достижений для развития собственной экономики;

- заимствования – заключается в освоении производства высокотехнологичной продукции, выпускаемой в других странах, путем использования своей дешевой рабочей силы и имеющегося научно-технического потенциала;

- наращивания, при которой используется собственный научно-технический потенциал, привлекаются иностранные ученые и специалисты, достигается интеграция фундаментальной и прикладной науки.

Предполагается, что третий тип стратегии должен стать доминирующим в инновационном развитии Украины.

В ее реализации сегодня есть большие трудности. Еще нет обоснованной теоретической основы инновационной модели. Разработанная нормативная база активно критикуется [3-8]. И даже такая нормативная база не работает. Не развита соответствующая инфраструктура. Принимаемые на государственном и региональном

уровне программы инновационной деятельности практически остаются на бумаге. Финансирование науки государством находится на крайне низком уровне.

Развитие инновационной модели в значительной степени зависит от имеющегося в стране научно-технического потенциала.

Для целенаправленного изучения его составляющих необходимо осуществлять сбор, сохранение, обработку информации для последующего использования научно-технического потенциала при решении проблем разного уровня.

Важной задачей при этом является разработка автоматизированной информационной системы по научно-техническому потенциалу.

Анализ публикаций по теме исследования

Научно-технический потенциал является основой научно-технического развития страны и представляет собой совокупность всех ее научных средств и ресурсов, предназначенных для решения задач научно-технического развития, стоящих перед страной.

Известным ученым по исследованию научно-технического потенциала является член-корреспондент НАН Украины Г.М. Добров. В 1988 году издана монография [9], в которой он и его коллеги изложили результаты изучения процессов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок на различных уровнях организации исследовательской деятельности. Определены факторы, тенденции и закономерности, касающиеся научно-технического потенциала, использования и обновления технологий научных исследований.

В монографии [10] рассмотрены теоретические вопросы инновационной деятельности в связи с концепцией жизненного цикла научно-технического объекта, приведены разработанные авторами методы прогнозирования научно-технических нововведений.

Большое число работ, посвященных проблемам оценки и развития научно-технического потенциала, опубликовали ученые созданного по инициативе Г.М. Доброва Центра исследований научно-технического потенциала и истории науки НАН Украины, сегодня носящего его имя.

Исследования научно-технического потенциала велись в региональных научных центрах НАН Украины и МОН Украины.

Цель статьи

Цель статьи – показать круг основных задач по решению, с привлечением ученых и специалистов, актуальных комплексных региональных проблем, а также результаты по разработке автоматизированной информационной системы по научно-техническому потенциалу.

Основная часть

Украина унаследовала от СССР значительный научно-технический потенциал. Это наличие признанных в мире научных школ и уникальных технологий по разработке новых материалов, биотехнологий, радиоэлектроники, физики низких температур, ядерной физики, электросварки, машиностроения, технологий в области информатики, телекоммуникаций и связи, способных обеспечить развитие современного высокотехнологичного производства.

Вместе с тем, необходимо отметить, что за прошедшие годы в Украине произошло снижение научно-технического потенциала практически по всем его составляющим. Так, с 1990 года по 2009 год количество научных работников, по данным Госкомстата Украины [11], уменьшилось втрое – с 313 до 94 тысяч человек (рис. 1).

Изменение количества кандидатов и докторов наук в экономике Украины показано на рис. 2 и 3. За 18 лет количество докторов наук в экономике выросло более чем в 1,5 раза. Количество кандидатов наук в экономике Украины также возрастает. Однако в научных организациях работает треть всех докторов и менее четверти кандидатов наук.

Основными признаками продолжающихся процессов упадка кадрового потенциала научно-технологической сферы являются:

- долговременные кризисные явления в экономике, уменьшение объемов финансирования науки;
- деградация практически всех секторов науки, особенно отраслевого и заводского, вызванная, в том числе, неэффективной государственной научно-технической политикой;
- снижение престижности научной работы и, как следствие, уменьшение численности работников, занятых исследованиями и разработками, особенно их активной части – исследователей;

– уменьшение доли выпускников высших учебных заведений III-IV уровней аккредитации, в дальнейшем избирающих научно-техническую деятельность;

– демографический кризис кадрового потенциала науки вследствие постарения [12], выбытия работников продуктивного возраста (30-55 лет) в другие сферы экономической деятельности, эмиграции;

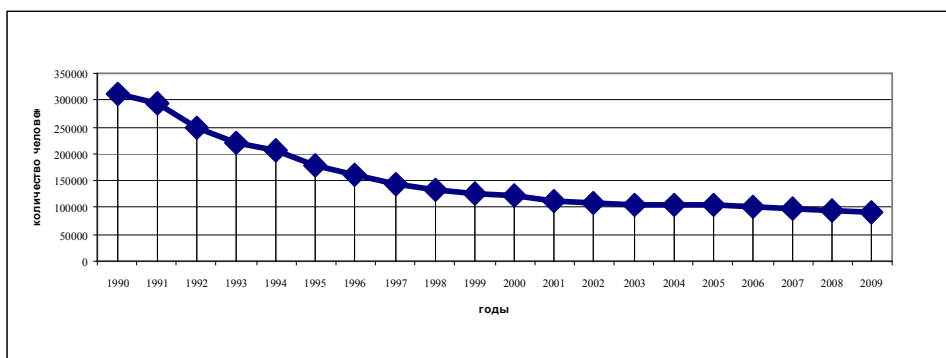


Рисунок 1 - Количество научных работников

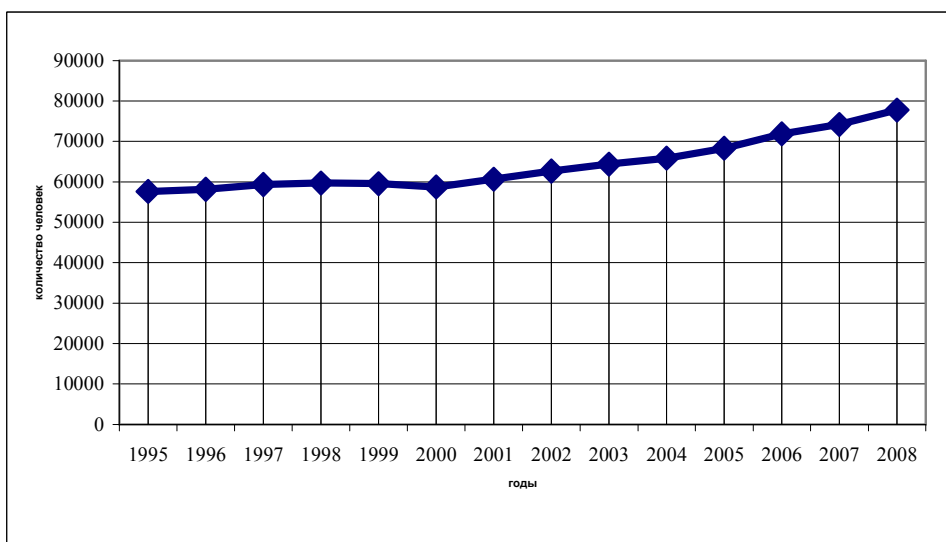


Рисунок 2 - Количество кандидатов наук в экономике

Необходимость решения стоящих перед территориальными структурами различного уровня задач обеспечения жизнедеятельности и развития территории требует привлечения к этому имеющегося научно-технического потенциала, поэтому задача его сохранения и развития чрезвычайно актуальна.

Научно-технический потенциал сосредоточен в организациях сферы "наука и научное обслуживание" и для его эффективного использования необходимо иметь соответствующую информацию.

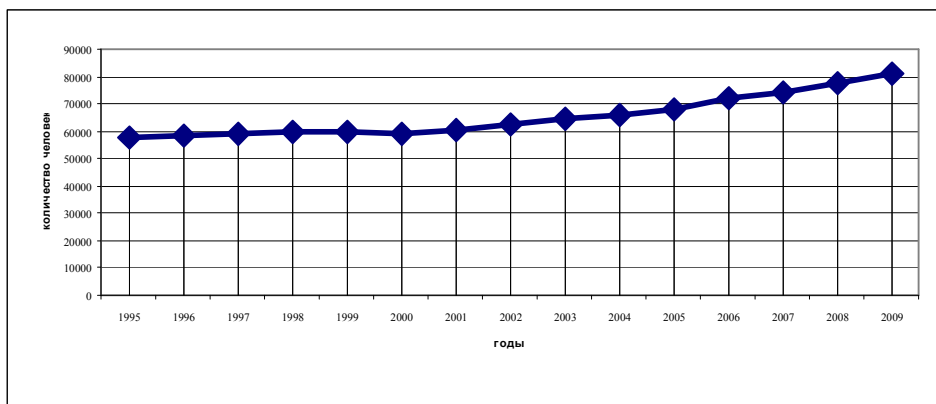


Рисунок 3 - Количество докторов наук в экономике

Как известно [9], для привлечения ученых и специалистов к решению конкретных задач удобны проблемно-ориентированные оценки научно-технического потенциала. Их суть заключается в определении соответствия характеристик потенциала специфике научно-технических задач и требуемому уровню их решения в заданный период времени.

Перечень основных задач, которые решались в Приднепровском научном центре НАН Украины и МОН Украины (ПНЦ) приведен на рис. 4. Осуществлялись исследования научно-технического потенциала и форм его привлечения для решения этих задач. Результаты ряда исследований приведены в работах [12-34].

В 1994 году в ПНЦ осуществлена разработка автоматизированной информационной системы (АИС), предназначенной для использования при проведении проблемно-ориентированных оценок научно-технического потенциала и содержащей информацию по организациям сферы "наука и научное обслуживание", ученым и специалистам, научным и научно-техническим разработкам.

Необходимость создания информационной системы в ПНЦ определялась как потребностями ПНЦ в информационном обеспечении, общими для всех научных организаций, так и специфическими особенностями ПНЦ как научно-координационной организации, занимающейся комплексными исследованиями и управлением в научно-технической сфере. В этих условиях для ПНЦ важна была компьютеризация, включающая информационное обеспечение работ по исследованию и управлению научно-техническим потенциалом Приднепровского региона

(Днепропетровская, Запорожская и Кировоградская области). Примерами таких работ являются отбор научно-технических разработок для финансирования из различных источников или поиск ученых и специалистов для выполнения работ по решению региональных проблем. Это требует соответствующей информационной поддержки.

АИС построена на основе СУБД ACCESS и содержит справочные таблицы и таблицы с информацией о научно-техническом потенциале. Структура базы данных и связи между таблицами показаны на рис. 5.

Справочные таблицы содержат информацию о городах и областях Украины, перечень научных степеней и ученых званий, стадий научно-технической разработки, квалификаций, типов организаций и ведомств, направлений научно-технической деятельности. Определенную трудность вызвала кодировка научно-технических разработок. За основу был принят классификатор изобретений, дополненный разделами, не подпадающими под признаки изобретения.

АИС содержит базы данных: организации, специалисты и разработки в сфере "наука и научное обслуживание".

К сожалению, существует ряд препятствий на пути создания и эффективной эксплуатации АИС. Основное препятствие – несовершенство информационных технологий, особенно процедур сбора информации. Часто необходимая информация либо отсутствует, либо практически недоступна. Кроме того, процессы, происходящие в жизни страны, приводят к быстрому старению собранной информации и необходимости ее обновления.

Поиск и сбор информации – один из наиболее трудоемких этапов в работе АИС. Для осуществления сбора информации были разработаны анкеты по организациям, специалистам и разработкам. Их содержание показано на рис. 4.

Разработанная АИС содержит сведения о более чем 700 организациях, 370 специалистах и 470 разработках.

Проведена работа по совершенствованию АИС [35]. Появились дополнительные возможности по использованию Internet-технологий.

Основные задачи по решению актуальных комплексных региональных проблем						
Научное обеспечение решения актуальных комплексных региональных проблем (в сфере экономики, экологии, ресурсосбережения, информатизации, культурного и духовного развития).	Содействие развитию фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в НИИ и вузах региона, повышение его научного потенциала, интеграция науки и образования.	Организация исследований в хозяйственном комплексе региона на научно-технических разработках.	Выбор проблем для их программной реализации, подготовка проектов региональных программ, их технико-экономический обоснование и организация выполнения программ.	Организация, координация и проведение исследований ученых и специалистов комплексных научных исследований, научных проблем, научных для социально-экономического и культурного развития региона.	Проведение научных и технических исследований, а также экспертизы экологических последствий реализации проектов в регионе.	Анализ состояния науки, ее развитие, перспективы, меры, направленные на дальнейшее развитие научного потенциала региона.
Разработка комплексной программы научно-технического прогресса Украины на 1991-2010 годы.	Совершенствование методов и организации управления научно-технической деятельностью в регионе [12, 21, 30].	Изучение состояния и технического уровня промышленности, предприятий Николаева и перспективы их развития и реконструкции.	Разработка предложений по приоритетным областям проблем и программ по их решению [16, 23].	Комплексные исследования по проблемам, актуальным для Днепропетровской и Закарпатской областей [31].	Экспертиза проектов разработки Бердянского угольного месторождения.	Разработка предложений по развитию науки, ее развитию, мерам, направленным на дальнейшее развитие научного потенциала центра.
Исследование проблем охраны и рационального использования водных ресурсов Приднепровья и путей их решения.	Разработка теоретико-методических основ формирования и интенсификация использования водных ресурсов и научного обслуживания населения в Приднепровском регионе [16, 25, 29].	Совершенствование форм и способов использования науч. исследований в регионе. Ретроспективный анализ проблем [14, 17-20, 24, 33, 34].	Разработка Программы социально-экономического развития Приднепровского региона до 2010 года [22, 28] и Концепции социально-экономического развития Днепропетровской области до 2011 года [32].	Создание ядерного топливного цикла Украины и участие в этой работе предприятий и учреждений Днепропетровской области.	Экспертиза проектов реконструкции металлургического комбината "Запорожсталь".	Изучение состояния академического сектора науки Приднепровья, разработка предложений по его развитию.
Исследование состояния и проблем охраны окружающей среды на предприятиях черной металлургии в Приднепровье.	Формирование механизма управления научно-техническим потенциалом Днепропетровской области.	Анализ возможностей использования материалов, изделий, конструкций, разработанных в институтах НАН Украины.	Разработка Программы энергосбережения в Днепропетровской области до 2010 года [26, 27].	Комплексные исследования социально-экономического состояния Днепропетровской области и путей его развития [32].	Предварительная научная экспертиза инновационных научных проектов.	Изучение состояния отрасли легкого сектора науки Приднепровья, его путей сохранения [12].

Рисунок 4 - Основные задачи по решению актуальных комплексных региональных проблем и примеры их решения

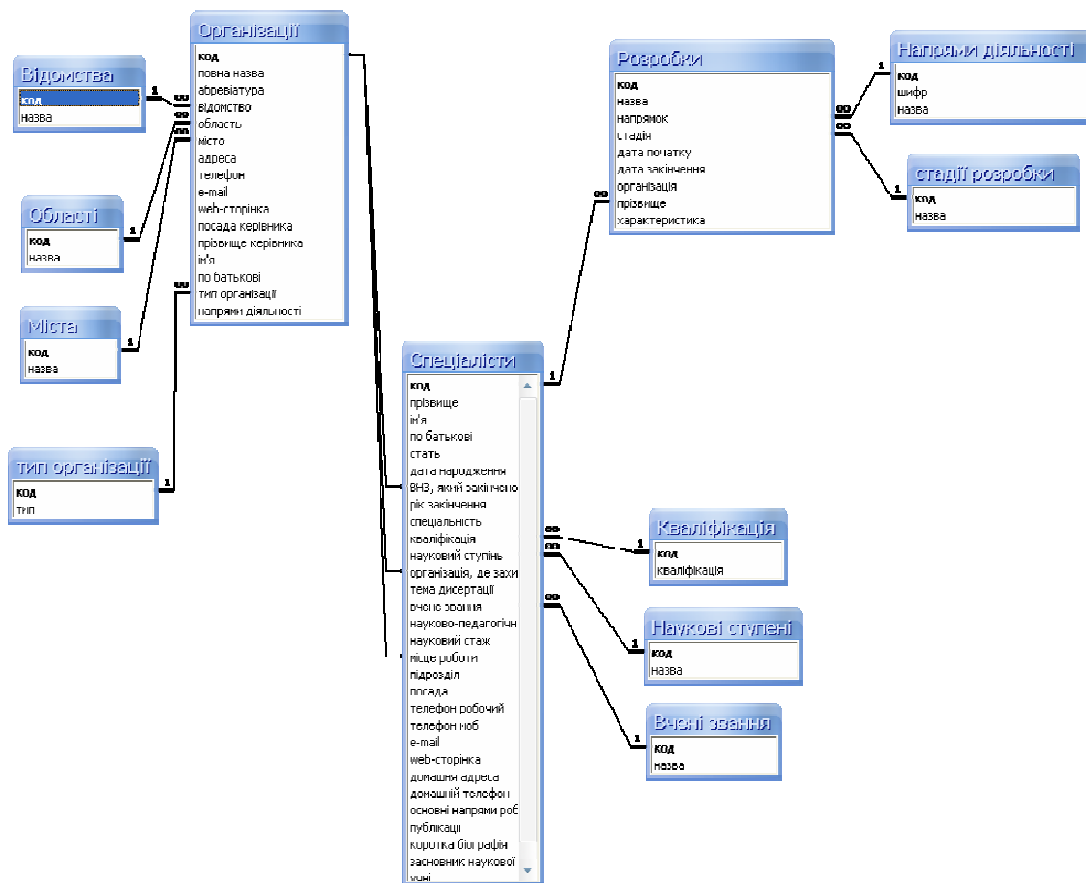


Рисунок 5 - Структура бази даних і зв'язи між таблицями

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Важнейшей задачей общества является сохранение и развитие научно-технического потенциала страны.

Для эффективного использования научно-технического потенциала целесообразно создание СУБД, содержащих информацию, позволяющую осуществлять его проблемно-ориентированные оценки.

В перспективе предполагается проводить работу по совершенствованию информационных технологий с целью повышения эффективности СУБД рассмотренного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Європейський вибір [Текст] / Виступ Президента України Л.Д. Кучми у Верховній Раді України 18 червня 2002 року. Послання Президента України до Верховної Ради України. – К. : Видавництво "Преса України", 2002. – 94 с. – ISBN 966-7084-66-3.
2. Стратегія економічного і соціального розвитку України (2004-2015 рр.) "Шляхом Європейської інтеграції" [Текст] / Авт. кол. А.С. Гальчинський, В.М. Геєць та ін. ; Нац. ін-т стратег. дослідж., Ін-т екон. прогнозування НАН України, М-во економіки та з питань європ. інтегр. України. – К. : ІВЦ Держкомстату України, 2004. – 416 с. – ISBN 966-7773-68-X.
3. Економіка знань : виклики глобалізації та Україна [Текст] / Під заг. ред. А.П. Гальчинського, С.В. Львовича, В.П. Семиноженка , Нац. ін-т стратег. дослідж., 2004. – 261 с. ISBN 966-7983-98-6.
4. Поступной А.Н. Инновационная модель – возможна ли она в Украине? [Текст] / А.Н. Поступной // UNIVERSITATES. – 2003, № 2. – С. 6-13.
5. Геєць В.М. Інноваційні перспективи України [Текст] / В.М. Геєць, В.П. Семиноженко. – Харків : Константа, 2006. – 272 с. ISBN 966-342-085-5.
6. Атаманова Ю.Є. Теоретичні проблеми становлення інноваційного права України [Текст] : монографія / Ю.Є. Атаманова. – Х. : Факт, 2006. – 256 с. : ил. – Библиогр.: с. 244-254. – ISBN 966-637-512-5.
7. Симпсон О.Е. Інноваційне і креативне право. Право знань і творчості [Текст] : монографія / О.Е. Симпсон. – К. : Видавничий Дім "Ін Юре", 2006. – 264 с. : ил. – Библиогр.: с. 239-259. – ISBN 966-313-320-1.
8. Чумаков Л.Д. Об инновациях [Текст] / Л.Д. Чумаков // М-лы XIV международной научно-практической конференции "Актуальные вопросы развития инновационной деятельности" (12-16 мая 2009 года), г. Симферополь, 2009. – С. 94-98.
9. Добров Г.М. Научно-технический потенциал: структура, динамика, эффективность [Текст] / Г.М. Добров, В.Е. Тонкаль, А.А. Савельев [и др.] ; [отв. ред. В.Е. Тонкаль и Г.М. Добров]. – К. : Наук. Думка, 1988. – 347 с. : ил. – Библиогр.: с. 339-345. – ISBN 5-12-000959-X.
10. Добров Г.М. Прогнозирование и оценки научно-технических нововведений [Текст] / Г.М. Добров, А.А. Коренной, В.Б. Мусиенко [и др.] ; [отв. ред. В.Б. Мусиенко] ; АН УССР, Центр исслед. науч.-техн. потенциала и истории науки. – К. : Наук. думка, 1989. – 280 с. : ил. – Библиогр.: с. 263-268. – ISBN 5-12-001156-X.
11. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс] – Електрон. дані – К. : Інформаційний інтернет-портал Держжостату України, 2010. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>, вільний – Загл. з екрана.
12. Пилипенко В.В. Створення інноваційної моделі взаємодії науки, освіти, бізнесу і влади в Придніпровському регіоні: монографія "Інновації: проблеми науки і практики" [Текст] / В.В. Пилипенко, Л.Д. Чумаков. – Х. : ВД "ІНЖЕК", 2006. – С. 178-202. – ISBN 966-392-095-5.
13. Исследование научно-технического потенциала Приднепровского региона и путей его использования для решения региональных проблем / Отчет о НИР (заключ.), в 4-х томах, науч. рук. Л.Д. Чумаков. – Днепропетровск : ПНЦ НАН Украины и МОН Украины, 2002. – 490 с.
14. Чумаков Л.Д. Научно-технический потенциал Приднепровского региона и перспективы его развития [Текст] / Л.Д. Чумаков, Г.Н. Мажара, С.А. Бова. – Запорожье : Запорожский ЦНТИ, 1986. – 22 с.

15. Чумаков Л.Д. Опыт Приднепровского научного центра АН УССР по совершенствованию региональной системы управления научно-техническим прогрессом в новых условиях хозяйствования [Текст] / Л.Д. Чумаков, В.Г. Резчик // Респ. конф. "Региональные проблемы управления научно-техническим прогрессом : тез. докладов. – Чернигов : АН УССР, СЗНЦ, Черниговский ЦНТИ, 1988. – С. 37-38.
16. Чумаков Л.Д. Некоторые проблемы охраны окружающей среды в Приднепровском регионе и пути их решения [Текст] / Л.Д. Чумаков, В.В. Антонов, О.Ф. Никоненко, Г.Г. Шматков // Респ. конф. "Региональные проблемы управления научно-техническим прогрессом" : тез. докладов. – Чернигов : АН УССР, СЗНЦ, Черниговский ЦНТИ, 1988. – С. 51-52.
17. Чумаков Л.Д. Проблемы рационального природопользования и охраны окружающей среды в регионе (из опыта работы Приднепровского научного центра АН УССР) [Текст] / Л.Д. Чумаков, Г.Г. Шматков / Сб. "Формы и методы управления научно-техническим прогрессом в регионе". – К. : Наукова думка, 1988 – С. 87-97. – ISBN 5-12-000433-4.
18. Чумаков Л.Д. Опыт Приднепровского научного центра АН УССР по организации внедрения научных разработок [Текст] / Л.Д. Чумаков, Г.Н. Мажара, С.А. Бова / Сб. "Организационно-экономические формы интеграции науки и производства". – К. : Наукова думка, 1988. – С. 56-59.
19. Чумаков Л.Д. Шляхи інтенсивного використання потенціалу науки і наукового обслуговування в Придніпровському регіоні [Текст] / Л.Д. Чумаков // Респ. конф. "Проблеми організації фінансування та правового забезпечення науки в республіці" : тез. докладів. – Київ : АН УРСР, 1991, С. 30-36.
20. Анохин А.Б. Об информационном обеспечении энергетической безопасности Украины [Текст] / А.Б. Анохин, А.В. Бородулин, Б.Н. Вишневский, Л.Д. Чумаков // Труды Международной конф. "Экология и теплотехника". – АН высшей школы, ГМетАУ, НТО металлургов Украины, 1996.
21. Пилипенко В.В. Роль Приднепровского научного центра Национальной академии наук Украины в формировании и реализации региональной научно-технической политики [Текст] / В.В. Пилипенко, Л.Д. Чумаков // "Проблемы формирования и реализации региональной научно-технической политики в Украине. – Вопросы развития Крыма. Научно-практический дискуссионно-аналитический сборник ; спец. выпуск (№5). – Симферополь : Таврия, 1997. – С. 75-80.
22. Пилипенко В.В. Досвід розробки проекту Державної програми соціально-економічного розвитку Придніпровського регіону [Текст] / В.В. Пилипенко, Л.Д. Чумаков, Л.М. Зайцева // Труды науково-практичної конф. "Актуальні проблеми регіонального науково-технічного розвитку". – Харків : Міннауки України, НАН України, Харківська облдержадміністрація, ПСНЦ, ХОПНТЕІ, 1997. – С. 45-48.
23. Чумаков Л.Д. О работе Приднепровского научного центра по решению региональных проблем [Текст] / Л.Д. Чумаков // Сб. м-лов конференции "Молодежное инновационное предпринимательство". – г. Днепропетровск : ДОГА, 1998. – С. 49-52.
24. Чумаков Л.Д., Барна Т.В., Мартиненко О.Г. Про програму комплексного використання низькосортного вугілля України [Текст] / Л.Д. Чумаков, Т.В. Барна, О.Г. Мартиненко // Регіональна політика України: наукові основи, методи, механізми : за матеріалами доповідей міжнародної

- науково-практичної конференції, м.Львів, 21-23 травня 1998 р. : 3 Ч. / НАН України. Інститут регіональних досліджень ; Редкол.: відповідальний редактор М.І. Долішній. – Львів, 1998. – Ч. 3. – С. 152-154.
- 25.Чумаков Л.Д. Про розробку й реалізацію регіональної науково-технічної політики [Текст] / Л.Д. Чумаков // Регіональна політика України: наукові основи, методи, механізми : за матеріалами доповідей міжнародної науково-практичної конференції, м.Львів, 21-23 травня 1998 р. : 3 Ч. / НАН України. Інститут регіональних досліджень; Редкол.: відповідальний редактор М.І. Долішній. – Львів, 1998. – Ч. 2. – С. 378-382.
- 26.Чумаков Л.Д. О разработке и реализации Программы энергосбережения в Днепропетровской области [Текст] / Л.Д. Чумаков, Н.А. Голубцов // Бюллетень "Новости УОИМ", 2000, № 1, 2, Т. 2. – Днепропетровск : ИТМ НАН Украины, 2000. – С. 8–21.
- 27.Чумаков Л.Д. Приднепровская программа энергосбережения [Текст] / Л.Д. Чумаков, Н.А. Голубцов. – "ЕСТА", 2002, №1. – С. 54-55.
- 28.Чумаков Л.Д. Сучасне і майбутнє Придніпровського регіону [Текст] / Л.Д. Чумаков. – "Натураліс", 2002, №1. – С. 9-12.
- 29.Чумаков Л.Д. О научно-техническом потенциале Приднепровья [Текст] / Л.Д. Чумаков. – Екологія і природокористування : збірник наук. праць ІППЕ НАН України. – Випуск 5. – Дніпропетровськ, 2003. – С. 15-25.
- 30.Чумаков Л.Д. Регіональні аспекти управління науково-технічною сферою [Текст] / Л.Д. Чумаков // М-ли Круглого столу "Регіональний розвиток в умовах глобальних інтеграційних процесів (на прикладі Дніпропетровщини), Friedrich Ebert Stiftung, ДФ НІСД, 2004. – С. 66-79.
- 31.Чумаков Л.Д. Развитие топливно-энергетического комплекса и энергосбережения – первоочередные задания в Украине [Текст] / Л.Д. Чумаков // М-лы 2-й научно-практической конференции "Новые технологии энергоснабжения и энергосбережения в промышленности и ЖКХ" (28-29 марта 2007 года), г. Днепропетровск, 2007. – С. 8-11.
- 32.Чумаков Л.Д. О разработке Концепции социально-экономического развития Днепропетровской области [Текст] / Л.Д. Чумаков // "Бизнес-Информ". – 2007. – № 3-4. – С. 80-83.
- 33.Чумаков Л.Д. Про роботу Придніпровського наукового центру НАН України і МОН України щодо вирішення екологічних проблем регіону [Текст] / Л.Д. Чумаков // М-ли науково-практичної конференції "Екологічні питання функціонування зеленого кільця м. Дніпропетровська" (12 червня 2008 року), м. Дніпропетровськ, 2008. – С. 77-81.
- 34.Чумаков Л.Д., Бондаренко П.К., Чумакова Т.Л. Об инновационной деятельности в Приднепровском регионе [Текст] / Л.Д. Чумаков, П.К. Бондаренко, Т.Л. Чумакова // М-лы XIII международной научно-практической конференции "Актуальные вопросы развития инновационной деятельности" (12-16 мая 2008 года), г. Симферополь, 2008. – С. 139-145.
- 35.Чумаков Л.Д. Информационные технологии в инновационной деятельности [Текст] / Л.Д.Чумаков, И.В. Малеванная, И.В. Скотарь // М-лы Международной научно-практической конференции "Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании" (13-14 мая 2010 года), г. Днепропетровск, 2010. – С. 68.

Получено 30.10.2010г.

УДК 622.788

Е.Е. Вылупко, Н.В. Игнатов, О.В. Губа

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОКОМКОВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ И КАЧЕСТВО АГЛОМЕРАТА**

Аннотация. Экспериментально изучено влияние параметров окомкования на показатели процесса спекания. В ходе исследований варьировали аппаратное обеспечение процесса окомкования, режим работы окомкователей, а так же долю предварительно гранулированной тонкодисперсной составляющей в шихте. Экспериментальные данные показывают, что предварительное окомкование тонкодисперсной составляющей шихты, увеличение угла подъема разгрузочной части барабана и совмещение барабана и гранулятора позволяет повысить степень грануляции шихты и показатели процесса спекания.

Состояние и актуальность проблемы. Характерной чертой шихтовых условий современного агломерационного производства является высокий расход (около 800 кг/т агломерата) тонкозернистых материалов природного и техногенного происхождения. Использование в шихте тонкоизмельченного железорудного концентрата обусловило коренное изменение технологии агломерационного производства в конце 50-х гг. прошлого века. К концу 80-х гг. удельный расход агломерационной руды уменьшился от 820 до 230 кг/т агломерата, а расход концентрата возрос на 650 кг/т [1]. Повышенное содержание в шихте мелких фракций без принятия специальных мер сопровождалось снижением газопроницаемости слоя, производительности процесса и качества агломерата. В последние годы наблюдается тенденция дальнейшего повышения содержания тонкодисперсных составляющих в железорудной части шихты, повышения требования к качеству подготовки шихты и в особенности к окомкованию. Это привело к разработке дополнительных технологических операций подготовки тонкозернистых ингредиентов шихты – их предварительному и селективному гранулированию, а в некоторых случаях, просто агрегированию в машинах и аппаратах нового поколения [2]. Указанные операции следует рассматривать не только как средство

© Вылупко Е.Е., Игнатов Н.В., Губа О.В., 2010

повышения показателей процесса традиционного спекания, но и как путь к формированию агломерационной шихты с идентичными по гранулометрическому, вещественному и химическому составу реакционными объемами и, таким образом, получению спека с равнозначными по металлургическим свойствам фрагментами из слоевых систем специальной конструкции.

Собственно совершенствование процесса окомкования возможно двумя методами - внутреннего и внешнего воздействия:

- внутреннего воздействия – через состав шихты, предварительной грануляцией отдельных ее компонентов (озернение шихты), добавкой в шихту вяжущих материалов (известь, ПАВ).

- внешнего воздействия – путем изменения аппаратного обеспечения процесса окомкования, сочетания известных окомковательных аппаратов, изменения работы существующего оборудования, применения новой техники.

Постановка задачи. Анализ литературных данных показывает, что в условиях повышенной концентрации в шихте тонкодисперсных составляющих наиболее эффективным способом увеличения производительности агломерационных машин и улучшения качества агломерата является придание шихте достаточной газопроницаемости [3,4]. Это достигается внутренним и внешним воздействием на процесс окомкования, что и явилось предметом настоящих исследований. В ходе исследований варьировали аппаратным обеспечением процесса окомкования, режимом работы аппаратов, долей предварительно гранулированной тонкодисперсной составляющей в шихте, что позволяло оценить влияние равнозначных по вещественному и химическому составу реакционных объемов на показатели процесса спекания и качество агломерата.

Анализ достижений и публикаций. По мнению отечественных и зарубежных специалистов тонкодисперсные материалы должны быть хорошо окомкованы или подаваться в шихту в предварительно гранулированном виде. Повышению степени окомкования тонкодисперсных шихт способствует отдельная подача топлива, ввод в шихту негашеной извести и других вяжущих композиций, применение агрегатов виброгрануляции концентрата, изменение

параметров работы традиционных барабанов окомкователей, совместное применение барабанов и тарельчатых грануляторов [5].

В настоящее время наиболее распространенным способом внутреннего воздействия на процесс грануляции, применяемым на агломерационных фабриках, является добавление в состав шихты извести. Известь обладает вяжущими свойствами, создавая клеевые прослойки между частицами концентрата в результате кристаллизации портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - вещества, обеспечивающего сохранение прочности гранул вплоть до 450 °С.

Необходимо отметить высокую эффективность накатывания твердого топлива на поверхность рудных комков при его подаче в хвостовую зону барабана-окомкователя [6]. Частицы топлива энергично взаимодействуют с кислородом воздуха в зоне горения, повышается температурно-тепловой уровень процесса, что положительно сказывается на качестве агломерата и производительности агломерационных машин.

Общие тенденции развития конструкции барабанных смесителей и окомкователей состоят в том, что с ростом мощности агломерационных лент изменяется длина, диаметр, число оборотов, степень заполнения барабанов [7]. Оптимальный режим окомкования больших масс аглошихты должен подбираться экспериментально путем изменения всех основных параметров работы барабана, а не только его геометрических размеров.

Весьма перспективным является использование для подготовки шихты, главным образом, ее тонкодисперсной составляющей, вибрационной техники [8]. Виброокомковательные устройства, по сравнению с чашевыми грануляторами, довольно компактны и могут быть использованы практически в любой технологической схеме. Они обеспечивают высокую скорость грануляции и позволяют окомковывать материал в течение 10 – 40 сек.

Таким образом, улучшить газопроницаемость агломерационной шихты перед спеканием возможно за счет ввода в шихту вяжущих добавок, предварительного гранулирования тонкодисперсных составляющих, совершенствования аппаратного обеспечения и режима его работы.

Методика исследования. В идентичных сырьевых условиях, аппаратного и методического обеспечения спекали шихту

основностью 1,2 в слое высотой 300 мм в чаше площадью спекания $0,03\text{м}^2$. Шихта содержала в железорудной части концентрат и руду в соотношении 80/20 (при получении окатышей – 100% концентрата ЮГОКа), во флюсующей - известняк и 5 % извести от массы железорудной части, возврата – 20%, влажность шихты составляла 8%.

Агломерационная установка представляла собой комплекс оборудования для подготовки и спекания шихты, контроля параметров процесса спекания, обработки спека, определения качества агломерата. Шихту дозировали весовым методом, смешивали 2,5 и окомковывали 3 мин в гладкостенном барабане (диаметр 0,53, длина 0,8 м, скорость вращения 30 мин-1) с возможностью изменения угла наклона его продольной оси, гранулировали на тарельчатом грануляторе (диаметр тарели 1 м с возможностью изменения угла наклона от 0 до 60° и скоростью вращения тарели от 6 до 12 мин-1).

Изменение режима окомкования достигалось за счет изменения угла подъема разгрузочной части барабана вплоть до 20° (рис. 1) [9].

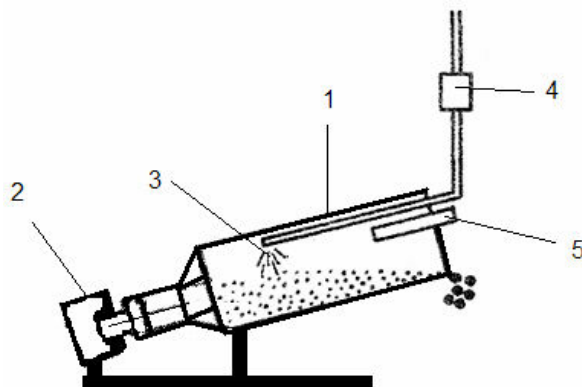


Рисунок 1 – Схема грануляции шихты в окомкователе: 1 – барабан; 2 – привод; 3 – форсунка для воды; 4 – дозатор воды; 5 – устройство для подачи исходной шихты

Спекали шихту в цилиндрической чаше, укомплектованной газовым зажигательным горном, эксгаустером, системой отвода и очистки отходящего из слоя газа и комплексом КИП, обеспечивающим контроль температуры теплоносителя в горне над слоем, в слое спекаемой шихты, отходящего газа, разрежения под

колосниковой решеткой. Спекание шихты осуществлялось в вакуумном режиме с предварительным зажиганием топлива в течение 1 мин теплоносителем с температурой 1250 °С. Окончание процесса спекания фиксировалось в момент достижения максимальной температуры отходящего газа. С_{пек} извлекался из чаши, сбрасывался с высоты 2 м на стальную плиту и продукт разрушения подвергался рассеву на сите с ячейкой 10мм для определения выхода годного. Годный испытывался в стандартном барабане по ДСТУ 3200-95 на удар (+5 мм) и истирание (-0,5 мм).

Результаты исследования. В первой серии экспериментов изучили влияние на процесс спекания и качество агломерата метода внутреннего воздействия - предварительной грануляции концентрата. В агломерационной шихте концентрат заменяли микроокатышами. Микроокатыши крупностью 5 – 10 мм получали из известкованного концентрата на тарельчатом грануляторе и вводили в шихту, заменяя от 25 до 100% концентрата.

Результаты исследований приведены в таб. 1 и показывают, что замена концентрата микроокатышами довольно эффективно влияет на технологические показатели спекания и качество агломерата.

Таблица 1

Результаты спеканий с предварительной грануляцией концентрата

Технологическая характеристика	Количество гранул концентрата в шихте, %				
	0 (база)	25	50	75	100
Масса спека, кг	13,24	13,24	13,75	13,56	13,84
Выход годного, %	67,16	69,73	66,11	67,4	67,57
Время спекания, мин.	18,5	16,0	18,25	13,62	13,0
Удельная производительность, т/м ² .ч	0,96	1,15	1	1,34	1,43
Вертикальная скорость спекания, мм/мин.	16,22	18,75	16,44	22,03	23,08
Расход твердого топлива, %	6,04	5,41	4,61	4,04	3,38
Качество агломерата					
Прочность агломерата, %	Выход фракции, %				
На удар (+5 мм)	60,33	61,4	62,33	62,67	63,33
На истирание (-0,5 мм)	6,33	7,0	7,33	7,00	6,67

Применение в агломерационной шихте микроокатышей меняет условия ее окомкования. При смешивании мелкие классы грубозернистой части шихты накатываются на влажные гранулы концентрата, в результате известняк, возврат и топливо располагаются на поверхности гранул, либо между ними, что аналогично технологии наката топлива. Вывод частиц коксовой мелочи на поверхность гранул в фильтрующие каналы спекаемого слоя, повышает степень и эффективность использования топлива в качестве источника тепла, что сопровождается значительной экономии его.

При увеличении доли микроокатышей от 25 до 100 % наблюдается повышение технико-экономических показателей процесса спекания по сравнению с базой: удельная производительность процесса возрастает от 0,96 до 1,43 т/м².час, содержание твердого топлива снижается от 6,04 до 3,38%, а время спекания сокращается от 18,5 до 13,0 мин. Качество агломерата остается примерно на прежнем уровне, прочность по ДСТУ 3200-95 возрастает не значительно. Графическая интерпретация полученных результатов приведена на рис. 2.

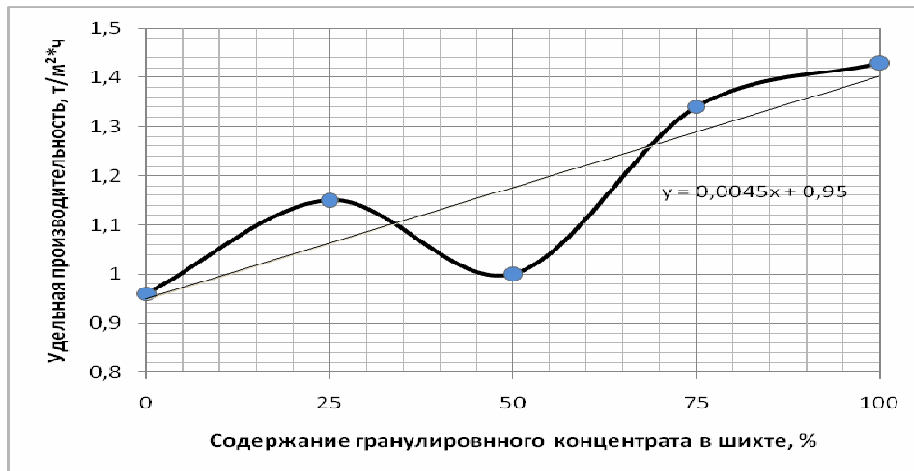


Рисунок 2 – Влияние замены концентрата микроокатышами в шихте на удельную производительность установки

Полученные результаты показывают, что предварительное окомкование сохраняет эффективность во всем интервале изменения доли гранулированного концентрата в шихте. Таким образом, следует ожидать весьма высокой эффективности технологического приема при повышении доли тонкодисперсной составляющей в шихте.

Во второй серии экспериментов изучали влияние режима работы барабана-окомкователя на процесс окомкования и гранулометрический состав агломерационной шихты. При этом изменяли угол подъема разгрузочной части барабана. В базовых опытах ось барабана располагалась горизонтально. Подъем разгрузочной части окомковательного барабана способствует получению в окомкованной шихте микроокатышей узкого гранулометрического состава. Барабан, работающий в подобном режиме позволяет осуществить возвратно-поступательное движение частиц шихты в очаг грануляции и таким образом становится подобен тарельчатому гранулятору с бортом довольно увеличенной длины. Меняя угол подъема разгрузочной части барабана и продолжительность окомкования можно эффективно влиять на гранулометрический состав шихты.

В проведенных исследованиях угол подъема барабана изменяли от 0 до 8° при фиксированной (3 мин) продолжительности окомкования. Шихта постоянного состава (для всех углов подъема) подавалась в барабан и окомковывалась одновременно с увлажнением в течении первых 1 – 1,5 мин после начала окомкования.

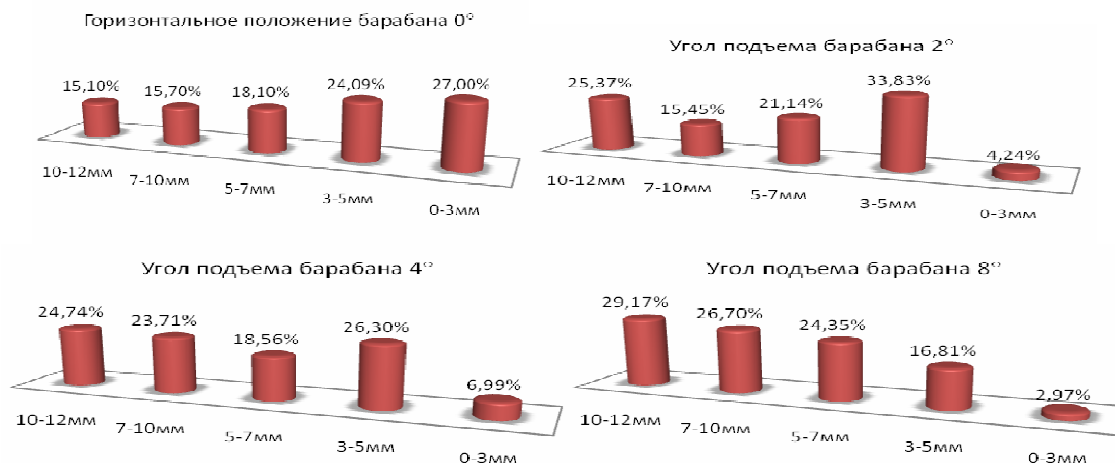


Рисунок 3 – Гранулометрический состав шихты после окомкования в барабане с изменением угла подъема разгрузочной части

Гранулометрический состав шихты определяли по результатам рассева ее на ситах с ячейкой 3, 5, 7 и 10 мм. Полученные результаты экспериментов показаны на рисунке 3 и однозначно свидетельствуют о повышении доли крупных фракций в окомкованной шихте. Если при подъеме разгрузочной части барабана

до 2° в основном изменяется содержание фракции 3-5 и 10-12 мм за счет резкого сокращения содержания фракции 0-3 мм, то дальнейшее увеличение угла подъема характеризуется явно выраженным выравниванием гранулометрического состава шихты на фоне продолжающегося сокращения содержания фракций 0-3 мм от 27,0 до 2,97%. В такой ситуации следует ожидать существенного влияния режима окомкования на показатели процесса спекания.

Действительно, скорость спекания возросла от 18,67 до 25,53 мм/мин, удельная производительность увеличилась от 0,9 до 1,54 т/м².час, а продолжительность спекания сократилось от 16,67 до 11,75 мин. Результаты спеканий показаны на рис. 4.

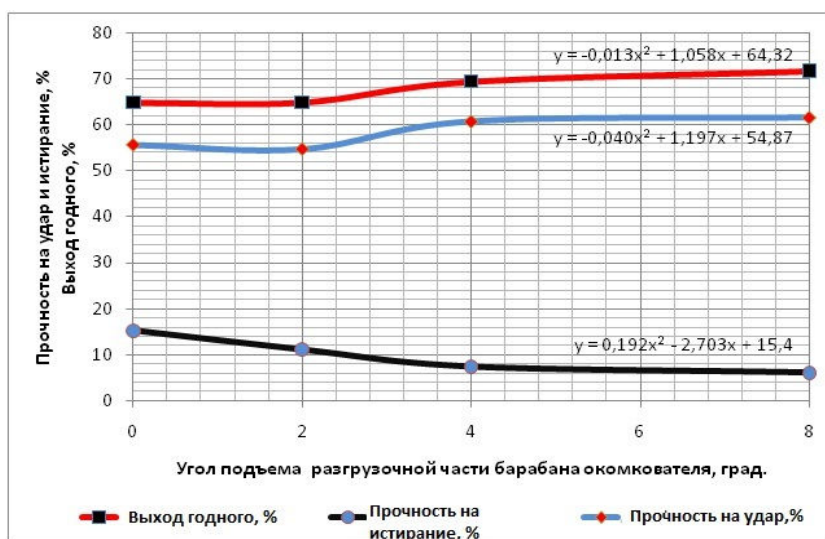


Рисунок 4 – Влияние угла подъема разгрузочной части барабана на показатели качества агломерата

Выход годного увеличился от 64,88 до 71,76%. Испытания в барабане по ДСТУ 3200-95 показали, что прочность на удар возросла на 5,87%, а на истирание - на 9,16%. Анализ графической интерпретации полученных результатов (рис. 4) показывает, что дальнейшее увеличение угла подъема разгрузочной части барабана-окомкователя нецелесообразно, поскольку сопровождается незначительным изменением анализируемых параметров. Но даже в этих условиях достигаемые результаты спеканий практически соответствуют предварительному окомкованию. Однако при этом не требуется применения дополнительного оборудования.

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что подъем разгрузочной части окомковательного барабана

технологически эффективен и технически осуществим в рамках действующей цепи аппаратов агломерационных фабрик.

Процесс окомкования агломерационной шихты возможно осуществить на оборудовании из аппаратного обеспечения процесса производства окатышей – тарельчатом грануляторе. Уплотнение комочка происходит постепенно под действием многочисленных ударов различного направления, благодаря чему взаимное перемещение частичек происходит только на тех участках, где в данный момент сопротивление материала минимально. В практике производства тарельчатые грануляторы применяются как устройства для предварительного озернения тонкоизмельченных компонентов шихты при добавлении их в виде мелких гранул в окомковательные барабаны.

В настоящих исследованиях тарельчатый гранулятор использовался как единственный аппарат для грануляции шихты. Шихтовые материалы в соответствии с расходными коэффициентами дозировались в емкости, загружались в барабан и смешивались в течение 2,5 мин. Смешанная шихта подавалась на тарельчатый гранулятор для последующего окомкования. Гранулированная шихта рассеивалась на классы на ситах с величиной ячейки указанной выше. Распределение гранул шихты по крупности показано на рис. 5.

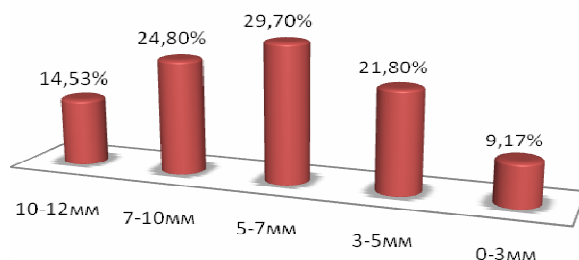


Рисунок 5 – Гранулометрический состав шихты, окомкованной на тарельчатом грануляторе

По сравнению с агломерационной шихтой, окомкованной в барабане, окомкование на тарельчатом грануляторе позволяет увеличить количество фракции 5 – 10 мм в шихте до 54,5% (33,8% для окомкования в барабане) и обеспечивает высокую прочность полученных гранул. Кроме того, значительно сокращается содержание в шихте фракции 10-12 и 0-3 мм, что позволяет ожидать повышения газопроницаемости слоевой системы и, следовательно,

увеличения производительности процесса спекания. Сделанные выводы подтверждаются результатами, приведенными в табл. 3.

Результаты экспериментов показали, что использование тарельчатого гранулятора, как аппарата для окомкования агломерационной шихты сопровождается увеличением, в сравнении с барабаном-окомкователем, производительности агломерационной установки от 0,9 до 1,24 т/м².ч и скорости спекания на 17%. Однако, наблюдаемое снижение выхода годного и прочности на удар связано с несоответствующим распределением частиц твердого топлива в объеме слоевой системы из гранул. Рост прочности на истирание может быть интерпретирован как эффект близости структуры спека к структуре слоя обожженных окатышей.

Таблица 3

Сравнительная характеристика ТЭП процесса спекания с применением различного оборудования для окомкования

Технологическая характеристика	Оборудование для грануляции	
	Барабан-окомкователь	Тарельчатый гранулятор
Масса спека, кг	13,1	14,2
Выход годного, %	64,88	56,5
Время спекания, мин.	16,667	13,75
Удельная производительность, т/м ² .ч	0,9	1,24
Вертикальная скорость спекания, мм/мин.	18,67	21,82
Качество агломерата		
Прочность агломерата, %	Выход фракции, %	
На удар (+5 мм)	55,73	52,82
На истирание (-0,5 мм)	15,27	12

Таким образом, использование тарельчатого гранулятора как аппарата для окомкования агломерационной шихты с высоким содержанием тонкоизмельченных компонентов дает не только прирост производительности и качества агломерата, но и обеспечивает получение прочных фрагментов спека блочно-ячеистого строения.

Выводы. Экспериментально изучено влияние методов внутреннего и внешнего воздействия на показатели процесса агломерационного спекания. Показана возможность повысить газопроницаемость агломерационной шихты и удельную производительность процесса за счет ввода в шихту вяжущих добавок, предварительного гранулирования тонкодисперсных составляющих, совершенствования аппаратного обеспечения и режима его работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Введение в технологии металлургического структурообразования. - Екатеринбург: УрО РАН, 2005. - 501 с.
2. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. - Екатеринбург: УрО РАН. 2003. – 400 с.
3. Коротич В.И., Пузанов В.П. Газодинамика агломерационного процесса. - М.: Металлургия, 1969. - 208 с.
4. Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов. - М.: Металлургия, 1966. - 151 с.
5. Кваско А.П., Клименко Ю.В., Шуголь Л.С., Применение добавок для повышения производительности агломерационного процесса // Уральская металлургия. – 140. -№7. - с.4 - 7.
6. Еремеева К.Н. Современная технология и оборудование для подготовки аглошихты // Обзор по системе Информсталь/ин-т «Черметинформация». - М., 1978. – № 17. - 41 с.
7. Агломашина площадью спекания 550 м². М., 1979 // Экспресс-информация/ин-т «Черметинформация», сер. 3, № 3, 13 с.
8. Патент США, кл. 75 – 7 C21, 1/10, № 348949, заявл. 21.12.68., опуб. 13.01.1970.
9. Heinze G. Novel Rotory Drum for Rolling Agglomeration // International Magazin fur Verfahrenstechnik. 1988. V.112. № 2. p.107-110.

Получено 01.11.2010г.

СОДЕРЖАНИЕ

Стенин А.А., Хоменко П.С., Рыбенко Ю.А. Социометрический метод формирования рабочих групп операторов технологических процессов и объектов движения.....	3
Сичевой А.В., Давыдов С.А. Особенности диагностирования пневмогидравлических систем ракет при их изготовлении	12
Неглуб С.Л. Исследование влияния параметров обработки эластичным инструментом на производительность процесса и качество обработанной поверхности	20
Маковцев В.А. Синусная универсальная технологическая оснастка будущего.....	30
Мищенко О.В. , Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Дослідження зміни різностінності при прокатці тонкостінних труб на станах хптр	37
Гнатушенко В.В., Дмитрієва І.С. Дослідження впливу процедури хендвера на функціонування мереж мобільного зв'язку.....	47
Федорович А.И. Исследование статистики собственных чисел матриц ганкеля	55
Ковалёв Д.А., Ванюкова Н.Д., Худяков А.Ю., Бойко М.Н. Исследование влияния параметров высокотемпературного режима сушки окатышей на показатели процесса	62
Огинский И.К. Название оптимизация технологических параметров при прокатке двутавровых профилей в четырехвалковом калибре...	73
Сегеда Я.В., Калинин В.Т., Мазорчук В.Ф. Структурное формирование композитного слоя при пропитке Fe-C расплавом нанопорошка тисп	85
Корхина И.А. Об учете неопределенности при планировании сроков выполнения проекта.....	92
Ремзи Варол, Аскеров Х.А., Бюлент Курт Влияние карбонитридов ванадия и ниобия на структурообразование и изменение механических свойств строительных сталей после термической обработки	100
Калмыков А.В., Смидович Л.С. Адаптация нотации BPMN к бизнес-процессам телекоммуникационного предприятия.....	106

Эйвазов Э.Б. Особенности при чистом изгибе полого эллиптического бруса с учетом физически нелинейности материала.....	119
Карпович Е.В., Чернецкий С.А., Карпович И.И. Комплексные показатели в задачах термоупругопластичности.....	123
Павлюченков И.А., Усенко С.А., Сало Е.В. Математическое моделирование теплопереноса по методу электрошлаковой наплавки слитка жидким металлом.....	130
Павлюченков И.А., Волошин Р.В., Овчаренко Т.Н., Бабенко М.В., Сало Е.В. Математическое моделирование плавления алюмосодержащего слитка в сталеразливочном ковше.....	138
Наумова И.Ю. К решению контактных задач теории пластин в температурном поле.....	148
Gershteyn G., Golosova T., Schaper M., Gerstein D., Lychagin D., Bach Fr.-W. The possible mechanism of slip band formation	162
Чумаков Л.Д. Автоматизированная информационная система по научно-техническому потенциалу	167
Вылупко Е.Е., Игнатов Н.В., Губа О.В. Влияние параметров окомкования на показатели процесса спекания и качество агломерата	178

РЕФЕРАТЫ

УДК 621-501.72(00-00)

Стенін О.А., Хоменко П.С., Рибенюк Ю.А. **Соціометричний метод формування робочих груп операторів технологічних процесів та рухомих об'єктів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.3 – 11.

Запропоновано метод формування ефективних робочих груп операторів, оснований на досягненні максимуму соціометричного показника сумісності членів робочих груп. Запропонований алгоритм формування істотно скорочує число варіантів та виключає безвихідні ситуації.

Бібл. 2, іл.3, табл. 3.

УДК 621.454.2

Сичевой А.В., Давидов С.А. **Особенности диагностирования пневмогидравлических систем ракет при их изготовлении** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.12 – 19.

Описано методологічне підґрунтя холодних технологічних випробувань ракет-носіїв та приведено результати впровадження таких випробувань.

Бібл. 5, іл.0, табл.0.

УДК 621.923

Негруб С.Л. **Дослідження впливу параметрів обробки еластичним інструментом на продуктивність процесу і якість обробленої поверхні** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.20 – 29.

У даній роботі поставлена задача перевірки ряду теоретичних висновків, і підкріплення їх практичними експериментами. В основу представлених досліджень покладена задача удосконалення волокна, з якого можна було б виготовити абразивний високоефективний інструмент.

Бібл. 4, іл. 9.

УДК 621.9.06-539

Маковцев В.А. **Синусная универсальная технологическая оснастка будущего** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.30 – 36.

Предложенные устройства расширяют технологические возможности существующего станочного оборудования при механической обработке с высокой точностью крупногабаритных изделий большой массы, аннулируют одноцелевые неразборные наклонные стационарные приспособления, значительно снижают себестоимость выпускаемой продукции и сокращают сроки подготовки производства новых изделий.

Библ. 3, ил.1.

УДК 621.774

Міщенко О.В., Григоренко В.У., Пилипенко С.В. **Дослідження зміни різностінності при прокатці тонкостінних труб на станах ХПТР** // Системные технологии. Региональный

межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.37 – 46.

Проведено експериментальні дослідження зміни поперечної різностінності труб при прокатці для випадку класичної схеми подачі-повороту перед прямим ходом кліті. Труби замірювали приборами УЗК в поперечному перерізі вздовж всієї труби по товщині стінки у партії труб до прокатки та після прокатки. Відбирали робочі конуси деформації, та розрізали їх на 27 частин, виміряли товщину стінки у 9 точках в кожному поперечному перерізі. Досліджені в статті випадки прокатки труб відношенням діаметра до товщини стінки $25.4/2.65=9.58$ з великою початковою різностінністю 16-25% показали інтенсивне зменшення абсолютної та відносної різностінності в першій третині конуса деформації. Зміна різностінності труби вздовж конуса деформації більш інтенсивніша при більшій величині подачі.

Бібл. 4, іл.6.

УДК 621.39

Гнатушенко В.В. **Дослідження впливу процедури хендовера на функціонування мереж мобільного зв'язку** / В.В. Гнатушенко, І.С. Дмитрієва // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.47 – 54.

Проаналізовано можливості найбільш актуального для оптимізації алгоритму м'якого хендовера з відносними порогами. Досліджено вплив інтерференції на функціонування мережі мобільного зв'язку в цілому.

Бібл. 4, іл. 1.

УДК 620.179

Федорович А.І. **Дослідження статистики власних чисел матриці Ганкеля** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.55 – 61.

Одним зі способів зменшення впливу перешкод на результати контролю є формування матриць Ганкеля і їх сингулярно-спектральний аналіз. Такий аналіз використовується для зменшення впливу перешкод шляхом відбору власних чисел і формування згладжених вибірок вимірів. Шляхом проведення обчислювальних експериментів досліджена статистика власних чисел матриць Ганкеля, сформованих по вибірках випадкових величин, при змінах зрушення й масштабу для симетричних і асиметричних законів розподілу ймовірностей, а також для корельорованих вихідних випадкових величин.

Библ.2, іл.3.

УДК 622.785

Ковальов Д.А., Ванюкова Н.Д., Худяков О.Ю., Бойко М.М. **Дослідження впливу параметрів високотемпературного режиму сушки обкотишів на показники процесу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.62 – 72.

З використанням методу математичного моделювання, було проведено дослідження впливу основних параметрів високотемпературного режиму сушки обкотишів на зміну температури і вологості в шарі, а також зміст FeO в обкотишах, по висоті шару (на відстанях 60,120,180 мм від колосникової решітки). Отримано поліноміальні моделі, які описують вказані залежності, проведено їх комплексний аналіз.

Бібл.10.

УДК 621.771

Огінський Й.К. **Оптимізація технологічних параметрів при прокатці двотаврових профілів у чотирьохвалкових калібрах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.73 – 84.

Виконано аналіз деформаційних особливостей при прокатці двотаврових балок у чотирьохвалковому калібрі, отримано аналітичні залежності для визначення меж осередку деформації і площ контакту металу з валком; у постановці та вирішенні задачі враховано, що формозмінення фланця може починатися поза межами геометричного осередку деформації спочатку у формі внеконтактного вигину з подальшим переходом до стану обтисків. Деформація позаконтактного вигину є регулюючим фактором при розподілі обтиснень між валками. З використанням отриманих залежностей виконано аналіз сил, що виникають на вертикальних і горизонтальних валках при прокатці двотаврових балок в універсальних калібрах на станах 550 і 600.

Бібл.6.

УДК 621.746.39

Сегеда Я.В., Калінін В.Т. Мазорчук В.Ф. **Структурне формування композиційного шару при пропитці Fe-C розплавом нанопорошка TiCN** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.85 – 91.

Проведені дослідження температурних полів в шарі пропитуемого нанопорошку. Встановлені залежності глибини, часу і величини швидкості пропитки від температури заливаемого металу. Проведені металографічні дослідження отриманих зразків композитних сплавів складу TiCN – хромонікелевий чавун.

Бібл.5.

УДК 005.53

Корхина И.А. **Об учете неопределенности при планировании сроков выполнения проекта** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.92 – 99.

Визначено важливість обчислення найбільш вірогідною тривалості проекту при плануванні його реалізації. Описана імовірнісна імітаційна модель і основні результати проведених досліджень.

Бібл.2.

УДК 620.17

Ремзи Варол, Х.А.Аскеров, Бюлент Курт **Влияние карбонитридов ванадия и ниобия на структурообразование и изменение механических свойств строительных сталей после термической обработки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.100 – 105.

Библ.9, іл.2.

УДК 004.031.42, 621.391, 65.012.122

Калмиков А.В., Смідович Л.С. **Адаптація нотації BPMN до бізнес-процесів телекомунікаційного підприємства** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.106 – 118.

Розглядаються питання створення безшовної технології проектування, моделювання та впровадження автоматизованих бізнес-процесів (БП). Запропоновані напрямки адаптації BPMN для БП телекомунікаційного підприємства. Сформульовані вимоги до систем супроводу БП.

Бібл.11, іл.3, табл.1.

Эйвазов Э.Б. **Особенности при чистом изгибе полого эллиптического бруса с учетом физически нелинейности материала** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.119 – 122.

Данная статья посвящена к исследованию напряженного состояния изотропного призматического стержня при изгибе из физически нелинейного материала. Задача решается с при мнением теории функции комплексного переменного и конформного отображения и в итоге используя теорему о вычетах найдена коэффициент, a а потом напряжения в характерных точках стержня.

Бібл.4.

УДК 621.791.1+517.958

Карпович Е.В., Чернецкий С.А., Карпович И.И. **Комплексные показатели в задачах термоупругопластичности** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.123 – 129.

В работе предлагается способ обезразмеривания полной системы уравнений термоупругопластической задачи для многослойных тел. Система уравнений полностью сохраняет свой вид, но появляется один безразмерный комплексный коэффициент, диапазон изменения которого определен в зависимости от температуры для разнообразных металлических материалов. Это позволяет на основе расчетов выполненных в безразмерном виде выбрать наиболее оптимальный вариант геометрических параметров конструкции и комплекс материалов с требуемыми физико-механическими свойствами.

Библ.8.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

Павлюченков І.О., Сало О.В., Усенко С.О. **Математичне моделювання процесу теплопереносу для зливка, який отриманий методом електрошлакового наплавлення рідким металом (ЕШН РМ)** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.130 – 137.

Представлена спільно вирішена математична модель теплової та електричної задачі для процесу здобуття зливка методом електрошлакового наплавлення рідким металом (РМ). Також приведені результати чисельного рішення по представленій моделі, що свідчать про її адекватність.

Бібл.7.

УДК 536:669.02.09:669.054.82:005

Павлюченков І.О., Волошин Р.В., Овчаренко Т.Н., Бабенко М.В., Сало О.В. **Математичне моделювання плавлення алюмомістського зливка в сталерозливочному ковші** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.138 – 147.

В статті розроблена математична модель і алгоритм розрахунку (на основі методу Дюзимбера) кінетики плавлення кускових матеріалів, що містять алюміній при несиметричних граничних умовах. Проведені розрахунки тривалості плавлення алюмомістського зливка циліндричної форми в залежності від швидкості поздовжнього обтікання для різних товщин обважнювача і захисної оболонки.

Бібл. 4, іл. 2.

УДК 539.3

Наумова І.Ю. **До розв'язування контактних задач теорії пластин у температурному полі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70). – Днепропетровск, 2010. – С.148 – 161.

Виконана побудова рівнянь уточненої теорії, придатної для розв'язування контактних задач по лицевих поверхнях, пластин, що знаходяться у стаціонарному температурному полі. На основі цих рівнянь розглянута деформація негладкої пластини, затиснутої між плоскими штампами, у температурному полі. Досліджено симетричний процес, при якому спочатку пластина була стиснута плоскими штампами, а потім температурне поле змінювалось, залишаючись сталим по товщині і ширині.

Бібл. 5, іл. 4.

УДК 539.2

Gershteyn G., Golosova T., Schaper M., Gerstein D., Lychagin D., Bach Fr.-W. **The possible mechanism of slip band formation** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70). – Днепропетровск, 2010. – С.162 – 166.

Работа посвящена исследованию деформационного рельефа, который является важной характеристикой пластической деформации. Исследованию деформационного рельефа посвящено много работ. Однако несмотря на большое количество накопленных данных в понимании механизмов образования деформационного рельефа еще остается много вопросов. В работе предлагаются новые возможные механизмы образования полос скольжения. Показано, что распространение скольжения в параллельные плоскости скольжения возможно в результате взаимодействия скользящих дислокаций с дислокациями леса. Приводятся фотографии деформационного рельефа. Предложенный механизм находится в согласии с экспериментальными данными по формированию деформационного рельефа.

Бібл. 5.

УДК 004.652.5

Чумаков Л.Д. **Автоматизированная информационная система по научно-техническому потенциалу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70). – Днепропетровск, 2010. – С.167 – 177.

Обсуждаются вопросы состояния научно-технического потенциала страны и Приднепровского региона, привлечения его к решению региональных проблем, разработки информационной системы по научно-техническому потенциалу.

Бібл. 35.

УДК 622.785

Вилупко Є.Є., Ігнатов М.В., Губа О.В. **Вплив параметрів огрудкування на показники процесу спікання і якість агломерату** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 5(70).– Днепропетровск, 2010. – С.178 – 188.

Експериментально вивчено вплив параметрів огрудкування на показники процесу спікання. У ході досліджень варіювали апаратне забезпечення процесу огрудкування, режим роботи огрудкувачей, а так само частку попередньо гранульованої тонкодисперсної складової в шихті. Експериментальні дані показують, що попереднє огрудкування тонкодисперсної складової шихти, збільшення кута підйому розвантажувальної частини барабана і суміщення барабана і гранулятора дозволяє підвищити ступінь грануляції шихти і показники процесу спікання.

Бібл. 9.

UDC 621-501.72(00-00)

Stenin O.A., Khomenko P.S., Rybenok J.A. **Sociometrical method of working groups operators of technological processes and objects of motion forming** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.3 – 11.

The method of effective working groups of operators forming based on achievement of a maximum sociometrical index of members working groups compatibility is offered in the article. The offered algorithm of forming substantially reduces the number of variants and cuts out the deadlock conditions.

Ref. 2, pic.3, tab.3.

UDC 621.454.2

Sychevoy A.V., Davydov S.A. **Features dyagnostyrovanyya pnevmohydravlycheskyh missile systems in their manufacture** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.12 – 19.

We describe the methodological basis of cold technological tests, launch vehicles and given results of such tests.

Ref. 5 il.0, tabl.0.

UDK 621.923

Negrub S.L. **Research of influence of parameters of treatment an elastic instrument on the productivity of process and quality of the treated surface** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.20 – 29.

The results of experimental researches of treatment by polishing considered elastic polymer by abrasive instruments. Dependences of basic technological parameters on descriptions of abrasive particles of instrument and high-quality parameters of the treated surface are resulted.

Bibl. 4, il. 9.

UDK 621.9.06-539

Makovtsev V.A. **Sine universal technological rigging of the future** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.30 – 36.

The offered devices broaden the technological possibilities of existing machine-tool equipment at tooling with high accuracy of large-sized wares of big mass, annul single-purpose non-separable sloping stationary adapters, considerably bring down prime cost of the produced products and reduce preproduction terms of new wares.

Bibl. 3, il. 1.

UDK 621.774

Mishchenko A.V., Grigorenko V.U., Pilipenko S.V. **Investigation of changes riznostinnosti at rolling mills for thin-walled tubes HPTR** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.37 – 46.

The changes in the cross pipe wall thickness deviation had been experimentally researched while rolling pipes for the case of classic feed – turn scheme before the direct stroke of the stand. The wall thickness of pipes in the party had been measured in the cross-section along the whole of pipe before and after rolling using USC (Ultra Sound Control) devices. The working deformation tapers had been drawn, cut in 27 pieces and measured for wall thickness in 9 points in each cross-section.

The cases of rolling pipes with ratio of diameter to wall thickness 25.4/2.65 (9,58) with high initial wall thickness deviation 16-25% researched in the paper have shown an intensive

decrease of the absolute and relative wall thickness deviation in the first one-third of deformation paper. The change of the wall thickness deviation along the deformation taper is more intensive while using the higher feed value.

Bibl. 4, il. 6.

UDK 621.39

Gnatushenko V.V. **Probing of agency of handover procedure on performance of mobile communication networks** / V.V. Gnatushenko, I.S. Dmitrieva // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.47 – 54.

Capabilities of the most actual for optimisation of soft handover algorithm with relative thresholds are parsed. Agency of an interference on performance of a mobile communication network as a whole is investigated.

Bibl. 4, ill. 1.

UDC 620.179

Fedorovich A.I. **Research statistics of own numbers Hankel's matrixes** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.55 – 61.

One of ways of reduction of influence of handicapes on results of the control is formation Hankel's matrixes and their singular-spectral analysis. Such analysis is used for reduction of influence of handicapes by selection of own numbers and formation smoothed samples measurements. By carrying out of computing experiments the statistics of own numbers Hankel's matrixes generated on samples of random variables is investigated. Their reaction at changes of shift and scale for symmetric and asymmetric laws of distribution of probabilities, and also for correlation initial random variables.

Bibl. 2, ill. 3.

UDC 622.788

Kovalev D.A., Vanukova N.D., Hudyakov O.Y. Boyko M.M. **The influence of parameters of high-temperature regime of drying pellets on the process performance** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.62 – 72.

Using the method of mathematical modeling, a study of influence of main parameters of high-temperature regime of drying pellets to changes in temperature and humidity in the layer, as well as the FeO content in the pellets, the height of the layer (at distances of 60,120,180 mm. From the grate). Obtained polynomial models describing these dependencies, conducted their comprehensive analysis.

Bibl. 10.

UDC 621.771

Oginsky Y.K. **Optimization of technological parameters of the H-profiles rolling in 4-roll passes** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.73 – 84.

The analysis of deformation features rolling H-beams in 4-roll passes was done. The analytical dependences to determine the boundaries of the deformation zone and the areas of contact of metal and roll were received. Also in formulation and solution of the problem was taken into account the fact that the deformation of the flange may begin outside the boundaries of the geometric deformation zone, originally in the form of non-contact curve with the next transition to a state of compressions. Deformation of non-contact curve is a regulatory factor distributing compressions between the rolls. Using the received dependences, the analysis of efforts, occurring on vertical and horizontal rolls rolling the H-beams in universal passes on the mills 550 and 600, was done.

Bibl. 6.

UDC 621.746.39

Segeda Y.V., Kalinin V.T., Mazorchuk V.F. **Structural forming of composite layer at the impregnation of Fe - C by fusion of nanopowder of TiCN** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.85 – 91.

Researches of the temperature fields are conducted in the layer of the impregnated with nanopowder. Set dependence of depth, time and size of speed of impregnation from the temperature of the inundated metal. Metallography researches of the got standards of composite alloys of composition of TiCN – chromonickel cast-iron are conducted.

Bibl. 5.

UDC 005.53

Korhina I.A. **On account of uncertainty in the scheduling of the project** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.92 – 99.

Determine the importance of calculating the most probable duration of the project in the planning of its implementation. We describe a probabilistic simulation model and the main researches results.

Bibl. 2.

UDC 620.17

Remzi Varol, JA Askerov, Bulent Kurt **Effect carbonitrides of vanadium and niobium on the structure and the mechanical properties of structural steels after heat treatment** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.100 – 105.

Bibl.9, il.2.

UDC 004.031.42, 621.391, 65.012.122

Kalmykov A.V., Smidovich L.S. **Adaptation of notation BPMN for business processes of the telecommunication enterprise** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.106 – 118.

The article considers problem solving of designing, modeling and implementation of automated business-processes (BPs) on the basis of seamless technology. Directions of adaptation BPMN for BPs of the telecommunication enterprise are offered. In accordance with it requirements to BPs support systems are formulated.

Bibl.11, pic.3, tab.1.

Eyvazov E.B. **Features in pure bending of hollow elliptical beam, taking into account the physical nonlinearity of material** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.119 – 122.

This article is devoted to the study of the stress state of isotropic prismatic bar bending of physically nonlinear material.

The problem is solved in view of the theory of functions of complex variable and conformal mapping and eventually using the residue theorem found coefficient, then the voltage at characteristic points of the rod.

Bibl.4.

UDC 621.791.1 +517,958

Karpovich E.V., Chernetsky S.A., Karpovich I.I. **Complex parameters in problems thermoelastoplasticity** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.123 – 129.

The method of receipt the dimensionless complete system of equalizations is offered. This system for a thermoresilient and thermoplastic task for multilayered bodies. The system of equations fully saves the kind, but one dimensionless complex coefficient appears. The change range of this coefficient depending on a temperature for various metallic materials is defined. It allows choosing the most optimum variant of construction parameters and complex of materials with the required physical and mechanical properties.

Bibl.8.

UDC 536:669.02.09:669.054.82:005

Pavlyuchenkov I., Salo E., Usenko S. **Computational modeling of the heat transmission for an ingot is received on method of electroslag remelting of a liquid metal (ESR LM)** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.130 – 137.

The mathematical model of thermal and electric task is presented for the process of receipt of ingot the method of electroslag remelting of a liquid metal (ESR LM). The results of computational modeling on the presented model, testifying to its adequacy, are also resulted.

Bibl.7.

UDK 536.699.02.09.669.054.8:005

Pavluchenkov I.A., Voloshin R.V., Ovcharenko T.N., Babenko M.V., Salo E.V. **The mathematical modeling of melting an aluminum ingot in the casting ladle** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.138 – 147.

There is the mathematics model and analysis calculation (on the basic Dzumber's method) of the cybernetics melting caked, which contain aluminum under asymmetrical boundary conditions were devised in this article. The calculations duration of the melting aluminum cylindricity ingot with speed of the longitudinal flow for the different thicknesses of the weighing material and serving were carried.

Bibl. 4, ill. 2.

UDC 539.3

Naumova I.Y. **To solve contact problems of plates theory in field of temperature** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.148 – 161.

The equation of improved theory constructed for contact problems on surface of plate in field of temperature. On foundation of this equations deformation unsmooth plate, squeezed between flat stamps has considered in field of temperature. The symmetrical process has investigated: at first the plate squeezed which stamps after that the field of temperature changed but temperature along of thickness and of breadth not changed.

Bibl. 5, ill. 4.

UDC 539.2

Gershteyn G., Golosova T., Schaper M., Gerstein D., Lychagin D., Bach Fr.-W. **The possible mechanism of slip band formation** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.162 – 166.

An investigation of the deformation relief, which is an important characteristic of plastic deformation, is carried out. Despite of the large amounts of accumulated data published regarding the mechanisms of deformation relief there are still many open questions. This paper proposes some possible new mechanisms for the formation of slip bands. It is shown that the distribution of gliding in the parallel slip plane is possible as a result of the interaction of slipping dislocations with forest dislocations. Images of the deformation relief were taken. The proposed mechanism correlates with experimental data of the formation of the deformation relief.

Bibl. 5.

UDC 004.652.5

Chumakov L.D. **Automated information system for scientific and technical potential** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.167 – 177.

Questions of a condition of scientific and technical potential of the country and Pridneprovsky region, its attraction to the solve of regional problems, workings out of the automated information system on scientific and technical potential are discussed.

Bibl. 35.

UDC 622.785

Vylupko E.E., Ignatov N.V., Guba O.V. **Influence of the Granulation on the Sintering Parameters and Quality of the Ready Sinter** // System technologies. N 5(70) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.178 – 188.

Influence of the granulation parameters on the sintering process characteristics was experimentally studied. Granulation setup, granulator working regime and share of the preliminary granulated fine fractions in sintering mixture were verified during the experiments. Experimental data performs the ability of such parameters as preliminary granulation of the fine fraction of the sintering mixture, increasing of the ascend angle of discharging part of the granulation drum and combination of the dram and granulator to improve the granulation level and sintering process characteristics.

Bibl. 9.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Стенін Олександр Африканович - д.т.н., проф. кафедри технічної кібернетики НТУУ «КПІ».

Хоменко Павло Сергійович - аспірант кафедри технічної кібернетики НТУУ «КПІ».

Рибенюк Юлія Анатоліївна - магістрант кафедри технічної кібернетики НТУУ «КПІ».

Сичевой А.В. - Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара.

Давыдов С.А. - Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара.

Неглуб Светлана Леонидовна - к.т.н., доц. кафедры Технологии машиностроения, НМетАУ.

Маковцев Владимир Александрович - к.т.н., доц. кафедры Технологии машиностроения НМетАУ.

Григоренко В.У. – д.т.н., проф. кафедры ОМД, НМетАУ.

Пилипенко С.В. – к.т.н., доц. кафедры ОМД, НМетАУ.

Мищенко А.В. - младший техник-технолог студент 4-го курса кафедры ОМД, НМетАУ.

Гнатушенко Владимир Владимирович — д.т.н., профессор кафедры электронных средств телекоммуникаций, Днепропетровского национального университета имени О.Гончара.

Дмитриева Ирина Сергеевна — к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Федорович А.И. - Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара.

Ковалев Дмитрий Арсеньевич - д.т.н., проф. кафедры металлургии чугуна, НМетАУ.

Ванюкова Наталья Дмитриевна - д.т.н., проф. кафедры металлургии чугуна, НМетАУ.

Худяков Александр Юрьевич - аспирант кафедры металлургии чугуна, НМетАУ.

Бойко Максим Николаевич - к.т.н., доц. кафедры металлургии чугуна, НМетАУ.

Огинский Иосиф Кузьмич – к.т.н., ст. научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением, НМетАУ.

Калинин Василий Тимофеевич - д.т.н., профессор кафедры литейного производства, НМетАУ.

Сегеда Ярослав Васильевич - аспирант кафедры литейного производства, НМетАУ.

Мазорчук Влодимир Федорович – к.т.н., доц. кафедры литейного производства, НМетАУ.

Корхина Инна Арнольдовна - аспирантка кафедры управления проектами, НМетАУ.

Ремзи Варол - Бартынский Университет, Турция.

Аскеров Х.А. - Бартынский Университет, Турция.

Бюлент Курт - Бартынский Университет, Турция.

Калмыков Андрей Викторович - к.т.н., докторант кафедры производства радиоэлектронных систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».

Смидович Леонид Сергеевич - к.т.н., доцент кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».

Эйвазов Э.Б. - Бартынский Университет, Турция.

Карпович Елена Владимировна – доцент кафедры технологии производства Физико-технического факультета Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Чернецкий Сергей Александрович – кандидат физико-математических наук, проректор Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Карпович Иван Иванович – старший преподаватель кафедры технологии производства Физико-технического факультета Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Павлюченко Игорь Александрович - д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПЗАС, Дніпродзержинський державний технічний університет.

Сало Олена Василівна – к.т.н., кафедра вищої математики, Дніпродзержинський державний технічний університет.

Усенко Сніжана Олександрівна - інженер металург, провідний інженер кафедри ЛВ, Дніпродзержинський державний технічний університет.

Бабенко Михаил Владимирович - к.т.н доцент, доцент каф. ПОАС, Днепропетровский государственный технический университет.

Волошин Руслан Витальевич - аспирант каф. ПОАС, Днепропетровский государственный технический университет.

Овчаренко Татьяна Николаевна - аспирантура каф. Прикладной математики, Днепропетровский государственный технический университет.

Наумова И.Ю. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры строительной механики, НМетАУ.

Gershteyn Grygoriy - dr., Institut für Werkstoffkunde, Leibniz Universität Hannover.

Goloseva Tatiana - kandydat phys.-mat. nauk, dozent, Chair the applied mathematics Tomsk State University of Architecture and Building.

Lychagin Dmitriy - doctor phys.-mat. nauk, professor, Chair the applied mathematics Tomsk State University of Architecture and Building.

Schaper Mirko - Dr.-Ing. habil., Institut für Werkstoffkunde, Leibniz Universität Hannover.

Gerstein Dennis - cand. mach., Institut für Werkstoffkunde, Leibniz Universität Hannover.

Bach Friedrich-Wilhelm - Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c., Institut für Werkstoffkunde, Leibniz Universität Hannover.

Чумаков Лев Дмитриевич - Украинский государственный химико-технологический университет.

Игнатов Николай Владимирович - к.т.н, доцент кафедры металлургии чугуна, НМетАУ.

Вылупко Егор Евгеньевич - аспирант кафедры металлургии чугуна, НМетАУ.

Губа Олег Васильевич - студент группы МР-05, НМетАУ.