

УДК 629.73.002.2

СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ АЛГОРИТМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАК ГЛАВНЫЙ ФАКТОР КАЧЕСТВА ПРОФИЛЕЙ

© 2011 В.Г. Кулаков¹, В.П. Махитько², А.А. Фёдоров²

¹ ЗАО «Авиастар-СП», г. Ульяновск

² Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 12.05.2011

В статье авторы формулируют основные требования для проектирования и изготовления роликов волоочно-прокатной установки; представляют её основной внешний вид без детализовки и разрезов; показывают виды сечений профилей после формообразования и параметры роликов окончательного формообразования и др.

Ключевые слова: технологическое оснащение, модели алгоритмизации, волоочно-прокатная установка, качество профилей.

При проектировании инструмента следует руководствоваться требованиями функциональности, стойкости, эргономики, а также соображениями экономической целесообразности, в частности, применение метода функционально-стоимостного анализа (ФСА) позволяет существенно сократить затраты на изготовление инструмента.

В состав технологического оснащения для изготовления гнутых листовых профилей по группам основных операций входят:

1. Оснастка для раскройно-заготовительных операций и для резки профиля в размер в составе ножей многодисковых, инструмента для обточки скосов;

2. оснастка для пробивки отверстий;

3. оснастка для формообразования профилей в составе роликов формирующих, втулок распорных, роликов правильных, роликов или фильер промежуточных;

При проектировании и изготовлении роликов необходимо выполнять следующие требования:

1. Обеспечить перемещение центра масс сечения профилированной заготовки по прямой линии на каждом переходе.

2. На горизонтальных участках контакт роликов с заготовкой должен отсутствовать.

3. Необходимый зазор (не более 0,1 мм) по торцевым поверхностям, замыкающий рабочий контур роликов.

Кулаков Виктор Геннадьевич, первый заместитель генерального директора – технический директор ЗАО «Авиастар-СП». Тел. (8422)22-06-16.

Махитько Вячеслав Петрович, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, управление и информатика».

Фёдоров Александр Александрович, кандидат технических наук, заместитель директора.

4. У одного из роликов каждой формирующей пары с обеих сторон должны быть бурты, ограничивающие рабочий контур и обеспечивающие приложение по торцам заготовки усилия тангенциального сжатия, при этом высоту и ширину бурта выбирают так, чтобы обеспечить равномерность прокаливания роликов при термической обработке. Рекомендуемая толщина буртов 15...25 мм со скруглением по радиусу не менее 3 мм. Величина прямолинейных, сопряженных с верхним роликом, участков буртов должны обеспечивать их перекрытие по высоте не менее 4...6 мм.

5. Рабочий калибр роликов окончательного формообразования должен иметь по углам гибки профиля радиусы, не препятствующие созданию локального утолщения материала.

6. Для изготовления профилей из низкопластичных материалов ролики должны иметь замкнутый рабочий контур на каждом переходе.

7. Проектирование роликов необходимо вести с построения рабочего контура роликов окончательного формообразования относительно оси профилирования, размещая на ней центр масс сечения профиля.

8. Формирующие ролики могут быть с горизонтальным и вертикальным расположением осей. Необходимо учитывать условия получения прямолинейного профиля и стабилизации процесса формообразования. Главным из этих условий является обеспечение (за счет рационального проектирования инструмента и настройки станка) прямолинейности оси профилирования и ее параллельности базовым поверхностям станка (рис. 1).

9. Непараллельность осей отверстий роликов в одной роликовой паре допускается не более 0,01 мм.

10. Твердость поверхности рабочего контура обеспечивать:

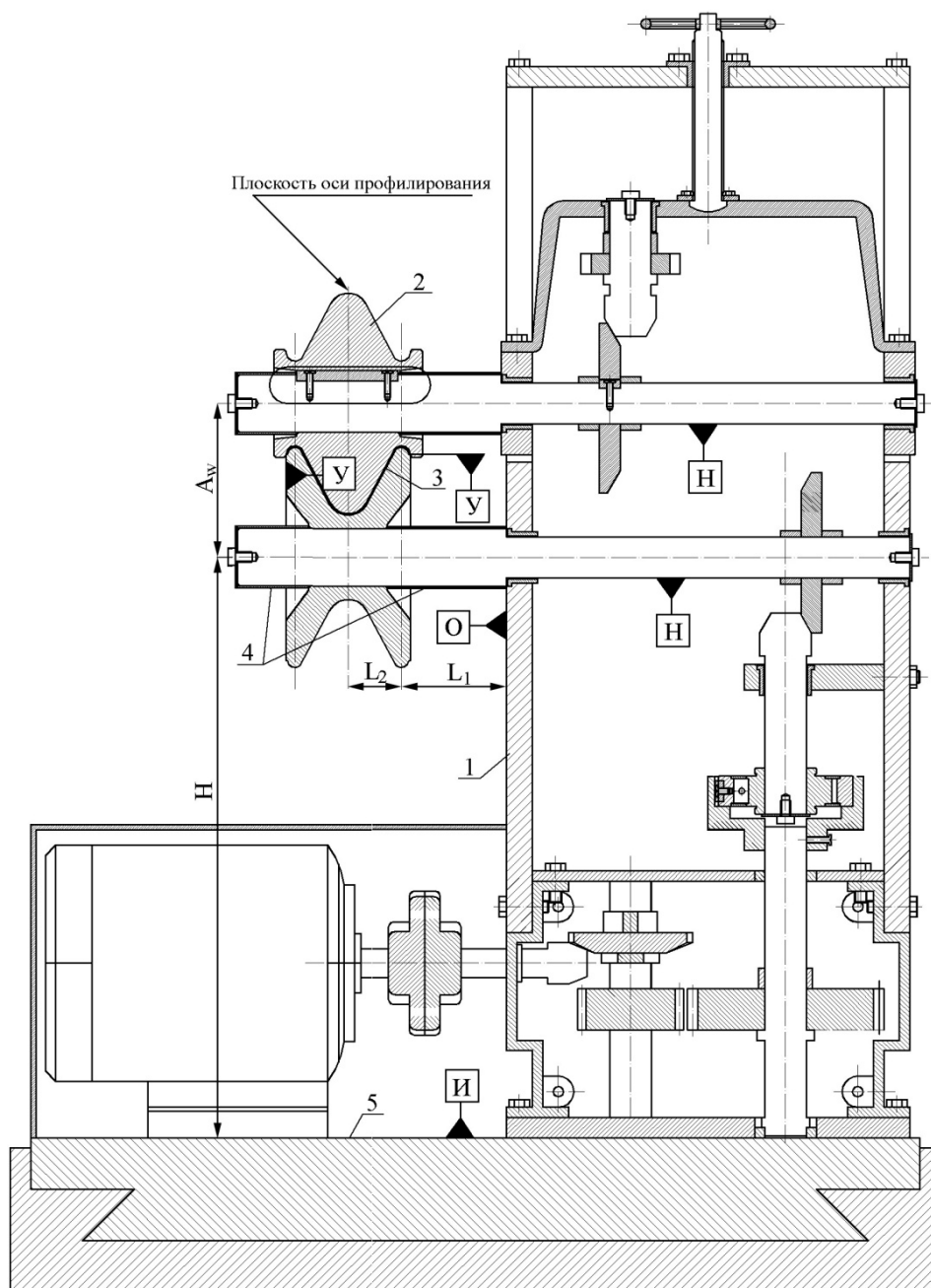


Рис. 1. Установка оси профилирования и базирование поверхностей:

1 – клеть профилегибочного стана, 2 – формирующий инструмент, 3 – заготовка, 4 – установочные втулки, 5 – станина; О – опорная база, Н – направляющая база, У – установочная база, И – измерительная база

для роликов предварительного формообразования HRC_3 52-55;

для роликов окончательного формообразования – не ниже HRC_3 56-60.

11. Для повышения износостойкости необходимо торцевые поверхности роликов в местах замыкания рабочего контура подвергать упрочнению, например, используя электроискровое легирование или алмазное выглаживание.

12. Острые кромки роликов скругляют радиусами $R = 0.3 - 0.5$ мм; на посадочных отверстиях роликов выполняются фаски $5 \times 30^\circ$, необходимые для облегчения установки роликов на валы стана.

13. Диаметры формирующих роликов на всех переходах следует выбирать конструктивно, исходя из межцентрового расстояния, диаметров рабочих валов и глубины формовки (глубины “вреза”).

Исходными данными для проектирования формирующего инструмента являются:

- геометрические размеры: толщина S_0 , высота H , ширина полок и форма сечения профиля;
- выбранная схема формообразования профиля и способы ее осуществления.

Схема формообразования выбирается из условия получения бездефектной зоны сгиба профиля с максимально возможным утолщением материала (рис. 2);



Рис. 2. Схема формообразования

- ширина заготовки;
- межосевые и межцентровые расстояния рабочих валов клеток применяемого оборудования;
- ширина рабочей части валов для установки роликов и возможность ее регулирования.

Основными базами для проектирования роликов являются:

1. Вертикальные и горизонтальные оси, проходящие через центры масс сечения профиля;
2. ось профилирования, проходящая через центры масс сечений профилируемой заготовки, используется для расчета диаметров роликов и построения сечений профиля на каждом переходе;
3. плоскость симметрии – вертикальная плоскость, проходящая через ось профилирования и вертикальную ось, используется для построения профиля симметричных сечений и выдерживание постоянной ширины всего комплекта роликов относительно установочной базы применяемого оборудования.

При правильно выбранной схеме формообразования и параметрах роликов можно при стесненном изгибе исключить пружинение материала, поэтому ролики окончательного формообразования следует делать по номинальным размерам профиля.

Из комплекта роликов окончательного формообразования для калибровки используют выполненные с более жесткими допусками по размерам их рабочего контура (то есть с точностью по более высокому качеству).

Для обеспечения точности размеров по сечению профиля следует в калибре роликов окончательного перехода выдерживать равномерность и постоянство зазоров, как в осевом, так и в радиальном направлениях. Для реализации данного условия на стадии проектирования целесообразно предусмотреть базирование роликов друг к другу, как правило, верхнего по нижнему.

При доводке размеров сначала шлифуют рабочий контур одного из роликов, обычно набегающего на заготовку, затем, используя его в качестве шаблона, доводят размеры другого сопрягаемого ролика.

Поверхность рабочего контура должна быть гладкой, без трещин, рисок, царапин и следов налипания материала заготовки. При обнаружении дефектов или отклонении геометрии ролика от чертежа инструмент должен быть отправлен на доработку.

Проектирование осуществляют, начиная с

роликов окончательного формообразования. Распределяя профиль равномерно относительно средней межосевой линии профилирования, исходя из равенства жесткостей верхней и нижней его частей (рис. 3). Рабочий контур нижних роликов замыкают буртами верхнего ролика, осаживающего криволинейную поверхность фланцевых полок. Профилированный зазор в рабочем контуре равен толщине заготовки – S_0 .

Ролики подрезные, разрезные и дисковые ножи являются традиционным инструментом, на который распространяются общие требования к отрезному инструменту и приводятся химические составы материалов, рекомендуемых для изготовления профилирующего инструмента.

Ниже приведена характеристика материалов по каждому виду профилирующего инструмента с указанием его термической обработки:

1. Сталь 20 – входные направляющие планки с цементацией и закалкой рабочих поверхностей до твердости HRC = 60...63, а также дистанционные втулки без термообработки.
2. Сталь 20X – оси вспомогательных роликов с цементацией и закалкой до твердости HRC = 60...63.
3. Сталь 40X – оси вспомогательных роликов, направляющие планки, оправки с закалкой до твердости HRC = 42...46.
4. 9X, 9XBГ, XBГ – формовочные валки сложной конфигурации, применяются после термической обработки с твердостью HRC = 55...59.
5. 9XC – формовочные валки сложной конфигурации, применяются после закалки с твердостью HRC = 58...62. Эта сталь является лучшим материалом для изготовления валкового инструмента сложной формы.
6. Ст. 45 – формовочные валки простых конфигураций, небольших диаметров, применяются после термической обработки при HRC = 55...59.

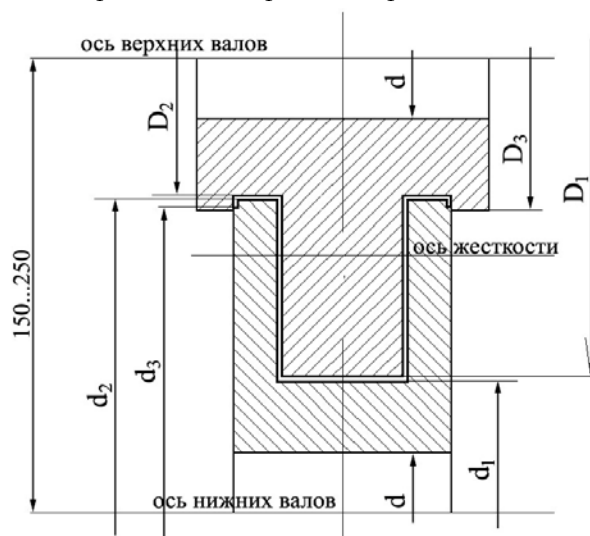


Рис. 3. Параметры роликов окончательного формообразования

7. X12M, 9XC – матрицы и пуансоны для резки/рубки профиля, ножи дисковых ножниц для холодной резки рулонных заготовок.

Далее сформируем рекомендации для определения требуемого числа профилирующих клеток, межклетьевого расстояния и габаритных размеров гибочно-прокатного оборудования, то есть гибочно-прокатных станков (станов) специального назначения для производства тонкостенных профилей в условиях холодного деформирования толщиной $s \leq 2,0$ мм на определенный сортament, который должен быть (станок) простой в изготовлении, мобильной, малогабаритной, малой металлоемкости и себестоимости. В целях оптимизации конструкции оборудования данного класса, рассчитанного для серийного производства профилей с большой тонкостенностью $b/s \geq 20$, где b - ширина подгибаемых элементов, кроме стандартных расчетов на прочность и жесткость валов, клеток, станины (рамы), привода валов и других конструктивных элементов по известным методикам в зависимости от максимальной толщины профилируемой полосы, количества зон сгиба, углов подгибки за проход, механических свойств материала из всей номенклатуры профилей, необходимо определить минимально допустимое межклетьевое расстояние A .

Для примера рассмотрим схему профилегибочного станка специального назначения (рис. 4. а), с валковой оснасткой для изготовления тонкостенного корытообразного профиля с плоскими подгибаемыми полками шириной b и толщиной s (рис. 4.б), состоящего из рамы 1 с установленными на ней клетями 2. На валах 3 установлены роликовые пары 4, приводимые во вращение при помощи привода 5.

Необходимое количество клеток n_{min} для по-

лучения кондиционного профиля найдем в зависимости от окончательного угла подгибки полок α_n и критического угла подгибки за проход $\alpha_{кр}$ с запасом по углу, определяемым коэффициентом запаса $\kappa = 0,05$:

$$n_{min} = \text{round}(\alpha_n / \alpha_{кр} (1 - \kappa)) \quad (1)$$

где round – функция округления до следующего целого.

Коэффициент запаса $\kappa = 0,05$ (5%) выбран на случай отклонения параметров при расчете $\alpha_{кр}$ и является минимальным, так как разброс механических свойств (по справочным данным) превышает 20 %, а минусовой допуск на толщину листового материала лежит в диапазоне – 5 – 10 %.

Критические углы подгибки за проход $\beta_{кр}$ определяются из условия устойчивости (энергетический критерий) отформованных полок в зависимости от геометрических характеристик подгибаемого элемента b и s , межклетьевого расстояния A и механических свойств профилируемой полосы σ_s и E (соответственно условный предел текучести и модуль упругости материала заготовки) при помощи системы трансцендентных уравнений.

Влияние межклетьевого расстояния A на значения критических углов подгибки $\beta_{кр}$ показано на рис. 5а., где процентное уменьшение угла $-\Delta\alpha_{кр}$, % по сравнению с углами при достаточно большом $A = 10b$ выражено через отношение A/b . Материал заготовки – Д16; b и A изменялись в диапазонах соответственно 50 - 100 мм и 200 - 400 мм. Кривые 1, 2, 3, 4 соответствуют толщинам профилируемой полосы $s = 0,5$ мм; 1,5 мм; 2,0 мм; 3,0 мм.

На рис. 5.б. показано влияние механических свойств профилируемой заготовки на критические углы подгибки плоских полок на примере

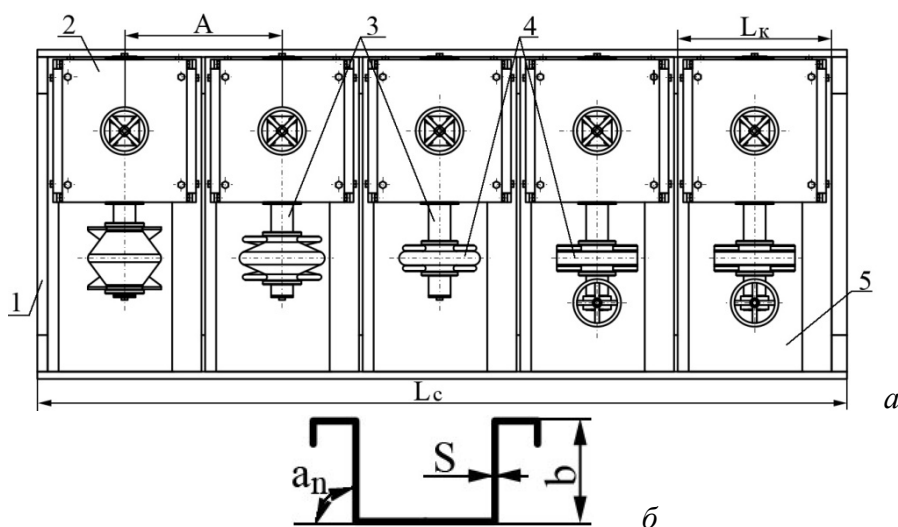


Рис. 4. Расчетная схема профилегибочного станка (вид сверху):

а – станина станка с клетями и приводом; б – поперечное сечение требуемого профиля

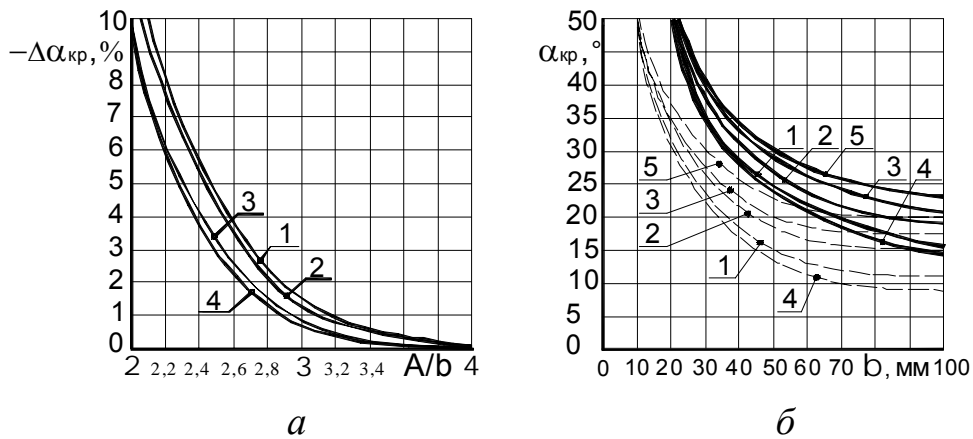


Рис. 5. Влияние межклетьевого расстояния (а) и механических свойств материала на критический угол подгибки (б)

материалов Ст.08кп, Д16, В95, АМц, ВТ6 (соответственно кривые 1, 2, 3, 4, 5), причем сплошные кривые $s = 1,0$ мм, штриховые $s = 0,5$ мм.

Подставляя результат решения системы уравнений относительно b в равенство (1) вместо $\alpha_{кр}$, определим минимальное число переходов, необходимое для формовки профиля с заданными параметрами без кромковой волнистости. Решение представлено графически на рис. 6 при $A = 400$ мм., материал заготовки Ст.08кп, $\alpha_n = 90^\circ$, $\kappa = 0,05$.

Уменьшение предельных углов подгибки (0,5 – 1 %) за проход заметно при $A/b < 3 - 3,5$, что необходимо учитывать при проектировании станков под сортамент профилей с таким или меньше отношением A/b , что практически довольно сложно реализовать из-за конструктивных особенностей валковой оснастки и клеток. Однако, если отношение $\alpha_n / (\alpha_{кр} (1 - k))$ близко к целому числу, то возможно уменьшение потребного числа переходов за счет некоторого увеличения межклетьевого расстояния. В целях минимизации количества потребных технологических переходов (количества клеток) необходимо исследование на экстремумы функциональной зависимости (1):

$$dn_{\min} / dA = 0. \quad (2)$$

Последнее важно в процессе разработки гибочно-прокатного оборудования под заданный сортамент профилей с минимальными длиной

станины и общей массой.

Определим длину станины профилигибочного агрегата:

$$L_c = (n - 1) \cdot A + L_{\kappa}, \quad (3)$$

где L_{κ} – конструктивная длина клетки в продольном направлении.

Массу станины профилигибочного агрегата с клетями и их приводом определим зависимостью:

$$M = \mu \cdot L_c + m_{кл} \cdot n, \quad (4)$$

где $\mu = \mu_p + \mu_{кл}$ – масса погонного метра рамы μ_p [кг/м] и привода $\mu_{кл}$ [кг/м]; $m_{кл} = m_1 + m_2 + m_3$ [кг] – масса рамы клетки m_1 , валов m_2 и валковой пары данного перехода m_3 .

Минимизируя функционалы M и L по параметру A , определим оптимальное значение A для выбранного поперечного сечения профиля b, s, α_n и материала заготовки σ_s, E . Значения теоретических расчетов критических углов подгибки за проход, потребного количества технологических переходов роликовой оснастки (приводных или неприводных) хорошо сходятся с практически реализованными схемами формообразования в роликовых парах для широкой номенклатуры профилей в диапазонах ширины подгибаемой полки $b = 10...65$ мм и толщины $s = 0,4...2,0$ мм на станках семейства ГПС, разработанных ФГУП “Ульяновским НИАТ” [1, 2].

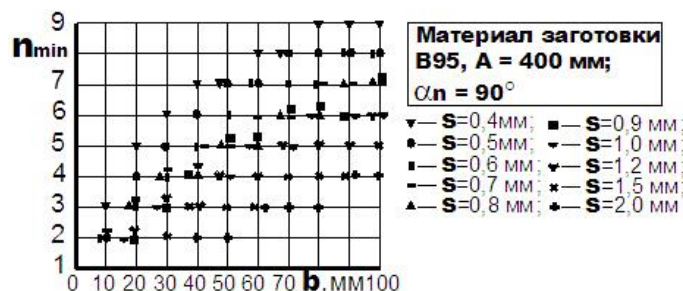


Рис. 6. Потребное количество технологических переходов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арышевский Ю.М., Марковцев В.А.* Разработка, изготовление и внедрение технологии для производства гнутолистовых профилей // Национальный институт авиационных технологий. Научно-технический отчет по НИР. 2009. С. 42.
2. Проскуряков Г.В. Стесненный изгиб // *Авиационная промышленность*. 2006. № 2. С. 9-13.
3. *Колганов И.М., О.В.Перфильев И.М.* Процедуры моделирования процессов изготовления тонкостенных профилей стесненным изгибом методом конечных элементов // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. Т. 12 № 4(2). С. 390-394.

**MEANS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ON THE BASIS OF MODELS
OF ALGORITHMIZATION OF PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES
AS THE PRIMARY FACTOR OF QUALITY OF STRUCTURES**

© 2011 V.G. Kulakov¹, V.P. Mahitko², A.A. Fyodorov²

¹Joint-Stock Companies "Aviastar-SP", Ulyanovsk

²Institute of Aviation Technologies and Managements
Ulyanovsk State Technical University

In clause authors formulate the basic requirements for designing and manufacturing of rollers of drawing rolling installation; represent its basic appearance without detailed and cuts; show kinds of sections of structures after education of the form and parameters of rollers final education of the form, etc.

Key words: technological equipment, models of algorithmization, rolling installation, quality of structures.

Victor Kulakov, First Deputy General Director – Technical Director of Joint-Stock Company "Aviastar-SP".

Tel. (8422)22-06-16.

Vyacheslav Mahitko, Candidate of Economics, Associate Professor at the Economy, Management and Computer Science Department.

Alexander Fedorov, Candidate of Technics, Deputy Director.