

УДК 621, 629.7

АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СВАРКИ ТРУБОПРОВОДОВ НА АВИАСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С ПОМОЩЬЮ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СВАРОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

© 2014 П.Ю. Павлов

ЗАО «Авиастар-СП», г. Ульяновск

Поступила в редакцию 09.09.2014

В статье проведен анализ текущего производственного процесса изготовления трубопроводов систем летательного аппарата на ЗАО «Авиастар-СП». Предложено использование роботизированных сварочных комплексов для автоматизации процесса сварки трубопроводов.

Ключевые слова: *трубопровод, технологическая оснастка, процесс, сварка, система, производство*

В настоящее время в производстве происходит уход от ручного труда к автоматизированному с применением различных роботизированных устройств, которые способны с более высокой точностью и стабильностью выполнять технологические операции [2, 3, 7]. Длительный застой на ЗАО «Авиастар-СП» привел к тому, что применяемая сегодня технология производства трубопроводов различных систем для летательных аппаратов (ЛА) устарела на 10-20 лет и не соответствует мировой практике. Поэтому имеет смысл рассмотреть варианты совершенствования существующей технологии.

Трубопроводы входят в следующие системы: кондиционирования воздуха; гидравлической; топливной; пневматической; противопожарной; аварийной подачи кислорода и др. В общем виде в состав трубопровода входит: труба (прямая или гнутая); патрубок; тройник; фитинг; проставка; кронштейны крепления. Основные материалы, из которых изготавливаются трубопроводы: сталь; титан; алюминий; магний; медь [8-10, 15, 16].

Рассмотрим существующую технологию изготовления трубопроводов. Общий вид трубопровода представлен на рис. 1.

Детали сложной формы, переменного сечения, различной геометрии и пространственного положения изготавливаются с применением специального технологического оснащения (СТО). СТО представляет собой набор вспомогательных технологических элементов, обеспечивающих фиксацию элементов трубопровода для последующей подгонки стыков, прихватки и сварки [6]. Однако применение СТО (рис. 2) вызывает ряд проблем и, как показывает опыт, очень

часто изделие, изготовленное в оснастке, необходимо дорабатывать, т.е. изготавливать Эталон [13] с примеркой его в составе самолёта. В данном случае цеху-изготовителю оснастки необходимо подгонять оснастку по эталону, что весьма проблематично и трудоёмко. Кроме того, утверждённый эталон на последующие серийные машины (по совокупности многих факторов) может не подойти, т.е. будет переэталонироваться, в результате чего, оснастка также будет дорабатываться [1].

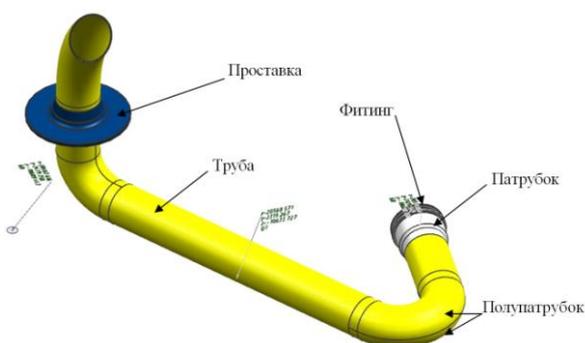


Рис. 1. Общий вид трубопровода

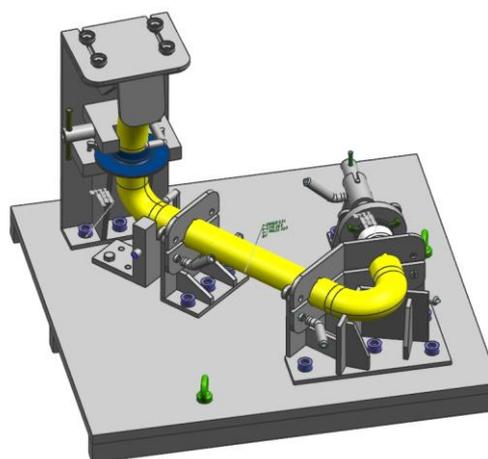


Рис. 2. Общий вид СТО

Павлов Павел Юрьевич, инженер по организации управления производством.
E-mail: pavel.y.pavlov@mail.ru

Процесс производства трубопроводов на ЗАО «Авиастар-СП» сегодня. Производство трубопроводов начинается с запуска электронной конструкторской документации (ЭКД) отделом систем, входящим в состав управления главного конструктора (УГК). Запущенная ЭКД загружается в базу данных электронного определения изделия (БД ЭОИ). Далее к ЭКД получает доступ управление главного технолога (УГТ) для технологической проработки. В отраслевых отделах УГТ разрабатываются технологические процессы (ТП), пишутся управляющие программы (УП) для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), проектируется специальное технологическое оснащение (СТО) и производится загрузка электронной модели (ЭМ) СТО в БД ЭОИ. Потом агрегатно-сборочное производство (АСП) и производство окончательной сборки (ПОС) производят анализ ЭКД и ТП, формируя сборочно-технологические комплекты (СТК). После чего на основании СТК планово-диспетчерское управление (ПДУ) формирует группы опережения (ГО) и планы производства в цеха-изготовители макетов, изготовителей СТО, деталей трубопроводов, сварки.

После получения плана макетный цех производства технологической оснастки (ПТО) открывает в БД ЭОИ ЭКД, технические условия (ТУ), ТП и изготавливает макеты трубопроводов.

Затем макеты трубопроводов обрабатывается на первой серийной машине и передается на склад макетов (СМ). Цех-изготовитель СТО получает от ПДУ план на изготовление технологического оснащения, выгружает ЭКД, ТУ, ТП, УП из БД ЭОИ, забирает с СМ макет трубопровода и изготавливает СТО для изготовления деталей трубопроводов и СТО для сварки трубопроводов. Затем СТО передается на склад оснастки (СО). Далее цех-изготовитель деталей трубопроводов получает от ПДУ план, открывает в БД ЭОИ ЭКД, ТУ, ТП, УП, забирает из СО СТО и изготавливает детали трубопроводов. Изготовленные детали трубопроводов отправляются в промежуточный склад (ПРОСК).

Участок сварки, получив от ПДУ план на изготовление подборок трубопроводов, выгружает из БД ЭОИ ЭКД, ТУ, ТП, забирает из ПРОСК детали трубопроводов и производит сварку трубопроводов. Затем изготовленные трубопроводы отправляются на центральный комплекточный склад (ЦКС). Затем АСП и ПОС получают из ПДУ план на изготовление агрегатов и воздушных судов выгружают из БД ЭОИ ЭКД, ТУ, ТП, забирают с ЦКСа трубопроводы и производят их монтаж на агрегаты ЛА [14]. Схема процесса производства трубопроводов представлена на рис. 3.

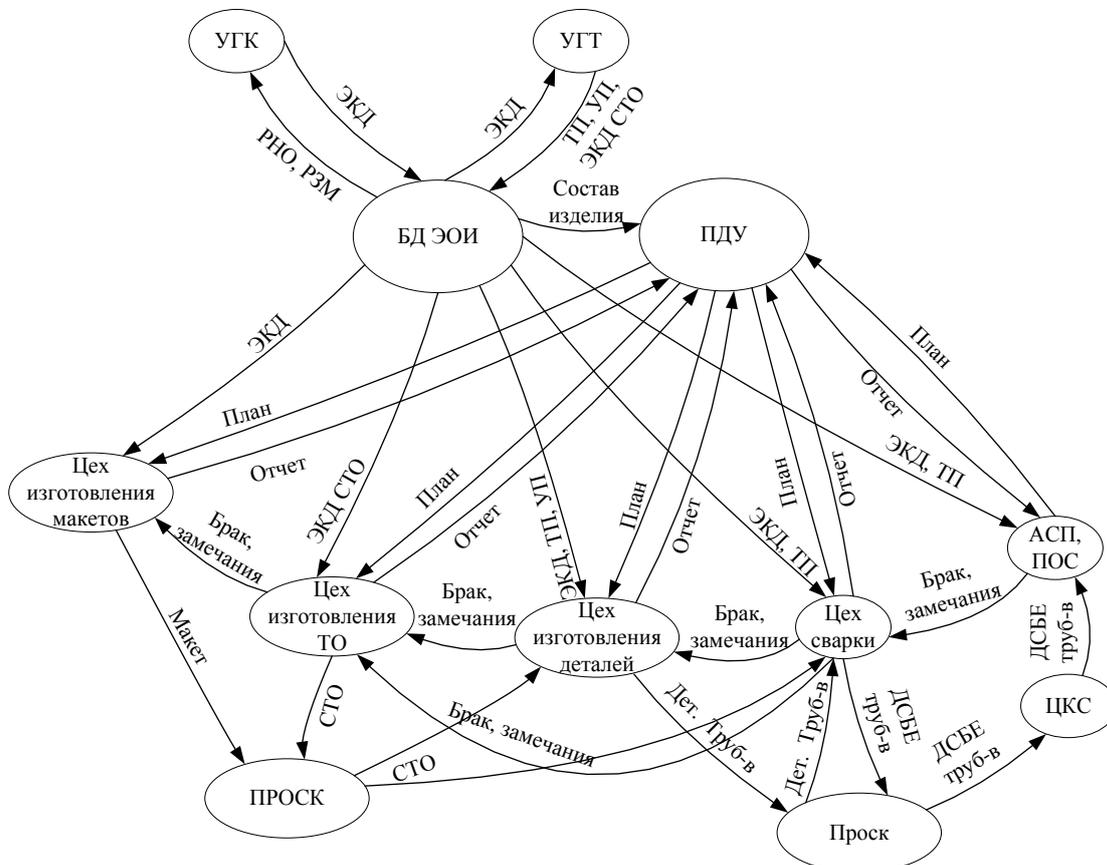


Рис. 3. Существующая схема процесса производства трубопроводов

Проанализировав существующий процесс изготовления трубопроводов можно выделить следующие проблемы:

- вредные условия труда;
- малая серийность изделий;
- большая номенклатура изготавливаемых СТО;
- высокая трудоемкость проектирования и изготовления макетов;
- высокая трудоемкость проектирования и изготовления СТО;
- большая металлоемкость;
- большие площади складских помещений для хранения СТО и макетов трубопроводов;
- дублирование ЭКД в базе данных завода и у разработчика ЛА (т.к. разработчики в основном используют систему Teamcenter);
- высокая трудоёмкость сборочно-сварочных работ.

Для обеспечения заданного темпа производства трубопроводов с учетом вышеописанных проблем необходимо:

- сократить цикл технологической подготовки производства (ТПП)
- снизить стоимость ТО за счет снижения времени на проектирование и изготовление специального технологического оснащения;
- снизить металлоемкость СТО;
- уменьшить (а лучше ликвидировать) количество промежуточных складов и логистических операций;
- повысить производительность труда.

В качестве возможного решения части этих проблем предлагается использовать роботизированный сварочный комплекс (РСК) [17]. Далее рассмотрим применение РСК в производственном процессе сварки трубопроводов.

Описание роботизированного сварочного комплекса. РСК в общем виде представляет систему, состоящую из звеньев (стержней) [4, 5] на подвижном основании. Схема работы манипуляторов представлена на рис. 4.

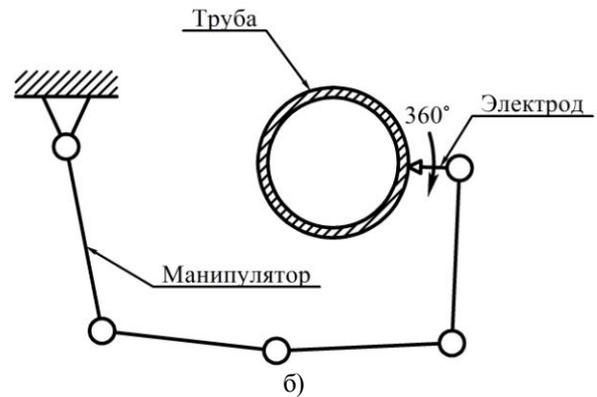
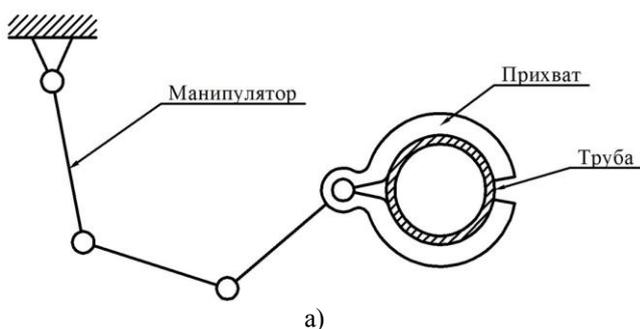


Рис. 4. Схема манипуляторов: а) с прихватом; б) с электродом

Общий вид манипуляторов, входящих в РСК представлен на рис. 5.



Рис. 5. Общий вид манипуляторов, входящих в РСК

В общем виде в состав манипуляторов РСК входят: основание; звено; прихват или электрод. Пример расположения манипуляторов при сварке двух труб показан на рис. 6. Общий вид роботизированного сварочного комплекса представлен на рис. 7.

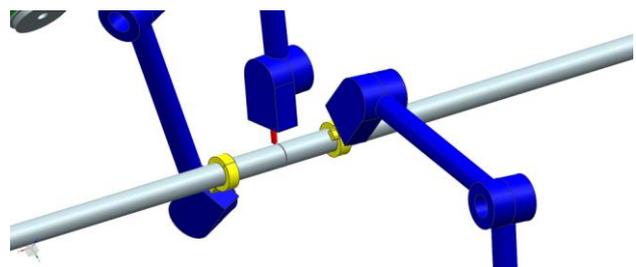


Рис. 6. Пример расположения манипуляторов при сварке

Далее рассмотрим расчет подобного устройства на прочность методом перемещений. Представим робототехническое устройство в виде системы из двух стержней 1, 2 и твердого тела ОЗ (рис. 8).

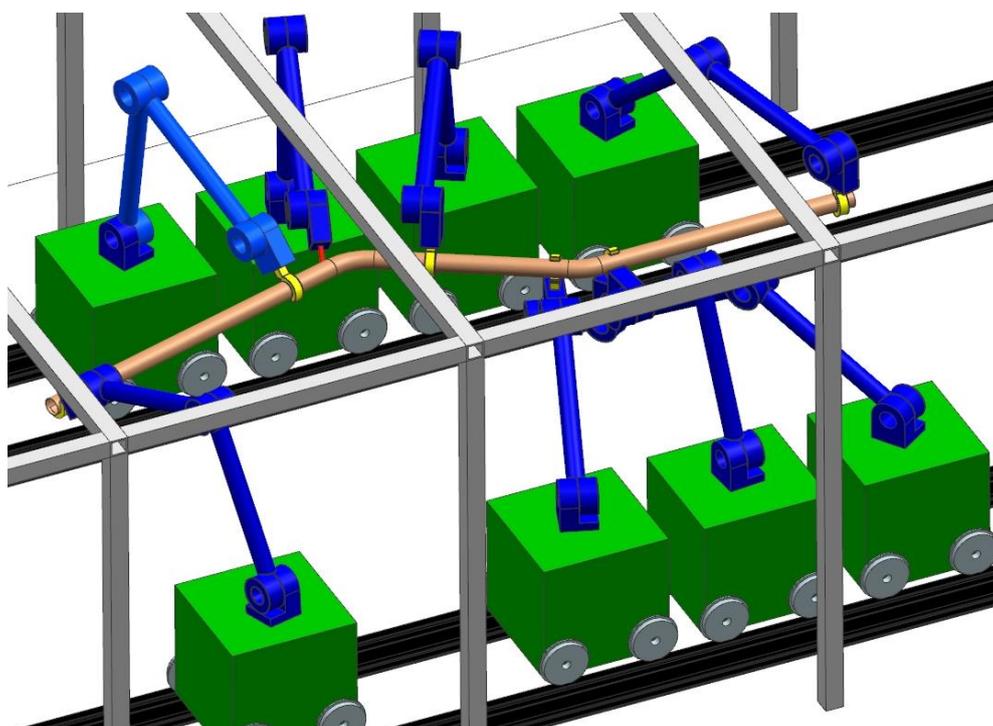


Рис. 7. Общий вид РСК

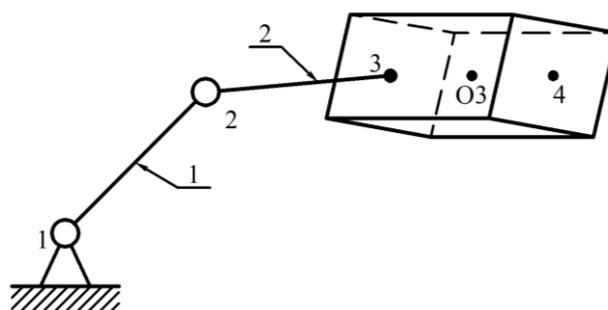


Рис. 8. Расчетная схема для робототехнического устройства

Условия динамического равновесия узлов стержней запишутся в виде [11]:

$$\dots - B_{np} \cdot U_p - B_{nr} U_r + (A_{np} + A_{nr} + A_{ns} + A_{nt} + C_n + \omega^2 \cdot I_n) U_n - B_{ns} U_s - B_{nt} U_t \dots = R_n \quad (1)$$

где A_{nk} , B_{nk} – матрицы динамических жесткостей; U_n , U_p , U_r , U_s – векторы перемещений начала и конца стержня соответствующих узлов; C_n – матрица сосредоточенных жесткостей n -го узла; I_n – матрица инерции n -го узла; ω – частота колебаний; R_n – вектор сосредоточенных нагрузок в n -ом узле.

Рассмотрим условия динамического равновесия для механической системы, состоящей из произвольного количества твердых тел, соединенных между собой произвольным количеством пружин. Характерная матричная строка для i -го элемента будет иметь вид [12]:

$$M_i \ddot{U}_{oi} + \sum_k L_{ki}^T b_{ij}^k L_{ki} \dot{U}_{oi} - \sum_k L_{ki}^T b_{ij}^k L_{kj} \dot{U}_{oj} + \sum_k L_{ki}^T c_{ij}^k L_{ki} U_{oi} - \sum_k L_{ki}^T c_{ij}^k L_{kj} U_{oj} = F_i \quad (2)$$

где C_{ij} – матрица жесткостей упругого элемента; U_{oi} , U_{oj} – векторы перемещений начала и конца стержня соответствующих узлов; M_i – матрица инерции i -го узла; ω – частота колебаний; F_i – вектор сосредоточенных нагрузок в i -ом узле; b_{ij} – матрица коэффициентов внутреннего рассеяния энергии; L_{ki} – матрица переноса перемещений в твердом теле.

Тогда условия динамического равновесия для системы, представленной на рис. 1 в матричной форме запишутся в виде:

$$\begin{aligned} A_{12}U_1 - B_{12} \cdot U_2 &= 0; \\ (A_{21} + A_{23})U_2 - B_{21} \cdot U_1 - B_{23} \cdot U_3 &= 0; \\ (L_{O3}^T A_{32} - \omega^2 \cdot M_3 L_{O3}^{-1})U_3 - B_{32} \cdot U_2 &= F_3; \end{aligned} \quad (3)$$

Два первых уравнения представляют собой уравнения равновесия для стержневой системы. Третье уравнение – уравнение равновесия для твердого тела. Для того чтобы перейти из точки 3 в точку 4 следует произвести замену переменных:

$$U_4 = L_{O4} L_{O3}^{-1} U_3 \quad (4)$$

Процесс производства трубопроводов с использованием РСК и РММ-системы. Качественное изменение существующей технологии невозможно произвести без автоматизации системы планирования и управления производством. Автоматизация системы планирования производится с целью:

- уменьшения влияния человеческого фактора;
- повышения скорости передачи данных, и, как следствие, уменьшение времени реагирования на изменения ситуации;
- повышения производительности труда за счет переноса рутинных операций с человека на ЭВМ.

Для планирования и управления производственными процессами предлагается внедрить систему Tescomatix и MES-систему, что позволит значительно сократить штат производственно-диспетчерского отдела, повысить производительность труда и уменьшить количество ошибок планирования, возникающих из-за человеческого фактора.

Рассмотрим процесс ТПП с применением РСК. Производство трубопроводов начинается с запуска ЭКД, находящейся в информационной системе (ИС) ЗАО «Авиастар-СП», отделом систем, входящим в УГК. Далее формируется план по подготовке производства для отделов УГТ. УГТ производит технологическую проработку ЭКД в ИС ЗАО «Авиастар-СП», в отраслевых отделах УГТ пишутся ТП на изготовление деталей трубопроводов и УП для РСК. Результаты работы сохраняются в ИС ЗАО «Авиастар-СП». Цех-изготовитель деталей трубопроводов получает из ИС план на производство деталей трубопроводов, загружает из ИС ЗАО «Авиастар-СП». ЭКД, ТУ, ТП, УП, забирает с ЦКС СТО, изготавливает детали трубопроводов и отмечает в MES-системе, что необходимые

детали изготовлены. Изготовленные детали трубопроводов отправляются в ПРОСК. Участок сварки получает из ИС план на изготовление подборок трубопроводов загружает из ИС ЗАО «Авиастар-СП» ЭКД, ТУ, ТП, УП, забирает со склада требуемые для РСК модули, производит сварку трубопроводов и отмечает в MES-системе, что данные подборы изготовлены. Затем изготовленные трубопроводы отправляются на центральный комплекточный склад (ЦКС). АСП и ПОС получает из ИС план на изготовление агрегатов и самолетов, загружают ЭКД, ТУ, ТП, УП, забирают из ЦКСа трубы и производят их монтаж на агрегаты ЛА. Схема процесса производства трубопроводов с использованием РСК представлена на рис. 8. Кроме несомненных достоинств, предлагаемая технология имеет и определенные недостатки: повышенные требования к квалификации персонала; повышенные требования к качеству изготовления элементов трубопроводов (во избежание ручной подгонки стыков); большие затраты на этапе внедрения.

Технико-экономическое обоснование. Проведем оценочный расчет экономического эффекта от перехода на предлагаемую технологию. Штат цехов, участвующих в изготовлении эталонов, СТО, деталей трубопровода, сварки составляет около 500 человек. После внедрения РСК штат можно сократить до 200 человек. Стоимость изготовления комплекта СТО на серийный самолет:

$$C_{\text{СТО}} = N_{\text{СТО}} * C_{\text{изг}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{изг}}$ - стоимость проектирования и изготовления одного СТО; $N_{\text{СТО}}$ - количество СТО на самолет.

$$C_{\text{СТО}} = 4000 \times 30000 = 120\,000\,000 \text{ руб.}$$

Экономия на заработной плате основных и вспомогательных рабочих за 5 лет производства составит (расчет ведется из серии в 39 самолетов до 2020 г.):

$$\Xi_{\text{з/п}} = Z_{\text{ср}} * N_{\text{р}} * N_{\text{мес}} * K * N_{\text{л}} \quad (6)$$

где $Z_{\text{ср}}$ – средняя заработная плата основных и вспомогательных рабочих в месяц; $N_{\text{р}}$ – количество сокращенных рабочих; $N_{\text{мес}}$ – количество месяцев; $N_{\text{л}}$ – количество лет; K – коэффициент отчислений в пенсионный фонд, социальный страховой фонд и т.д.

$$\Xi_{\text{з/п}} = 30000 * 300 * 12 * 1,355 * 5 = 731\,700\,000 \text{ руб.}$$

Стоимость РСК составит около 300 000 000 руб. Экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = C_{\text{сто}} + \mathcal{E}_{\text{з/п}} - C_{\text{рск}} \quad (7)$$

где $C_{\text{рск}}$ – стоимость внедрения РСК.

$$\mathcal{E} = 120\,000\,000 + 731\,700\,000 - 300\,000\,000 = 551\,700\,000 \text{ руб.}$$

Ориентировочный экономический эффект от внедрения РСК за пять лет составит около 550 млн. рублей.

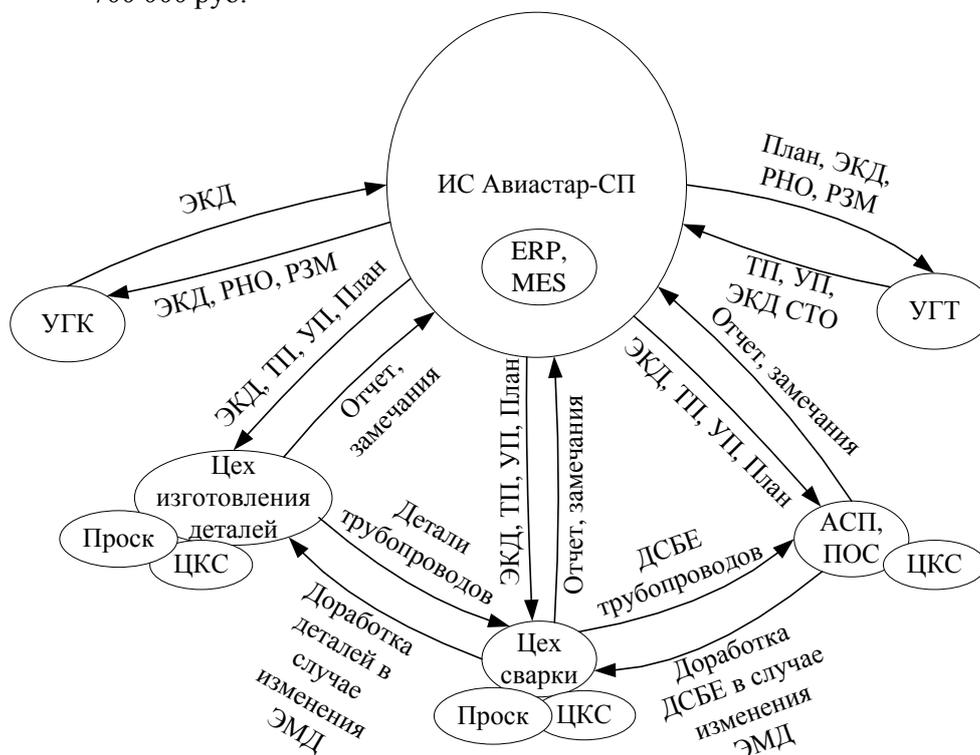


Рис. 8. Схема процесса производства трубопроводов с применением современных информационных систем и РСК

Выводы: отказ от СТО и переход на РСК дает ориентировочный экономический эффект около 550 миллионов рублей за счет снижения затрат на изготовление СТО и сокращения части основных и вспомогательных рабочих. Реализация данного проекта позволит значительно сократить издержки производства на стадии ТПП и серийного изготовления элементов трубопроводов, а так же поднять отечественное авиастроение на новый качественный уровень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баранников, А.А. Проблемы производства трубопроводов в современном авиастроении / А.А. Баранников, М.В. Гришин, А.В. Лебедев и др. – Красноярск: Научно-Инновационный Центр, 2014. С. 71-82.
2. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине / пер. Г.Н. Поваров. – М.: Советское радио, 1968. 2-е изд. 216 с.
3. Винер, Н. Мое отношение к кибернетике. Ее прошлое и будущее. – М.: Советское радио, 1969. – 24 с.
4. Корендясев, А.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес. – М.: Наука, 2006. Кн. 1. 383 с.
5. Корендясев, А.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес. – М.: Наука, 2006. Кн. 2. 376 с.
6. Крамтит, Н.Ю. Сварочные приспособления / Н.Ю. Крамтит, А.Г. Крамтит. – Томск: ЮТИ ТПУ, 2008. 95 с.
7. Лем, С. Сумма технологий. – М.: АСТ Полиграфиздат, 2012. 635 с.
8. ПИ 1.4.748-80. Дуговая сварка трубопроводов из нержавеющей сталей в среде инертных газов. 60 с.
9. ПИ 1.4.852-2002. Сварка контактная точечная и шовная алюминиевых, магниевых и медных сплавов. 86 с.
10. ПИ 1.4.853-2002. Сварка контактная точечная и шовная сталей, жаропрочных и титановых сплавов. 83 с.
11. Санкин, Ю.Н. Динамические характеристики вязко-упругих систем с распределенными параметрами. – Саратов: изд-во Саратовского ун-та, 1977. 312 с.
12. Санкин, Ю.Н. Лекции по теоретической механике. Ульяновск: УлГТУ, 2012. 388 с.
13. СТП 687.06.0694-2011. Эталонирование трубопроводов гидрогазовых и топливных систем, обеспечение взаимозаменяемости. Технические требования к эталонам труб и патрубков, порядок отработки, технического контроля и хранения. 53 с.

14. ТИ 687.25000.00248. Обеспечение промышленной чистоты при изготовлении трубопроводов, патрубков и корпусов гидробаков. 11 с.
15. ТИ 756.036.524-88. Сварка в среде защитных газов меди и ее сплавов. 15 с.
16. ТИ 756.036.529-88. Изготовление сварных трубопроводов из сплавов титана. 33 с.
17. Юревич, Е.И. Основы робототехники. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХ13-Петербург, 2005. 416 с.

AUTOMATION OF WELDING PROCESS OF PIPELINES ON AIRCRAFT MANUFACTURING PRODUCTION WITH THE HELP OF ROBOTIC WELDING COMPLEXES

© 2014 P.Yu. Pavlov

JSC “Aviastar-SP”, Ulyanovsk

In article the analysis of pipelines current production for systems of the aircraft on JSC “Aviastar-SP” is carried out. Use of the robotic welding complexes for automation the process of pipelines welding is offered.

Keywords: pipeline, industrial equipment, process, welding, system, production