

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕХОВ АГРЕГАТНО-СБОРОЧНОГО САМОЛЕТОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

### **Введение**

Одним из путей эффективного использования производственных возможностей самолетостроительных предприятий в условиях рыночной экономики является совершенствование его производственной структуры.

Под производственной структурой предприятия (ПСП) понимают состав производственных подразделений и соответствующую им форму специализации и кооперирования в процессе производства. Формирование производственной структуры является частью работ по проектированию производственной структуры, которые в общем случае включают в себя следующие этапы [1].

Первый этап. Формирование производственных подразделений. На этом этапе определяются специализация цехов, их количество; разрабатывается структура основного производства; определяются количество производственных участков, их специализация и производственная структура цехов.

Второй этап. Определяется количество сборочной оснастки, технологического оборудования по каждому производственному участку. Количество сборочной оснастки рассчитывают с учетом групповых сборочных приспособлений (ГСП). Возможность использования ГСП определяется классификатором сборочных единиц (СЕ) по конструктивно-технологическим признакам.

Третий этап. Определение форм организации производственных процессов. Форма организации процесса сборки СЕ зависит от последовательности выполнения операций сборочного процесса, расположения технологической оснастки и оборудования, количества изделий. Групповая форма организации технологических процессов характеризуется однородностью конструктивно-технологических признаков СЕ, единством средств технологического оснащения (СТО) одной или нескольких технологических операций.

Четвертый этап. Разработка структуры участков, отдельных рабочих мест, определение специализации поточных линий. На этом этапе осуществляется группирование СЕ для формирования многономенклатурных поточных линий.

Пятый этап. Определение состава и количества транспортно-складского оборудования, специальной оснастки; разработка технологических планировок производственных подразделений.

Таким образом, выбор рациональной производственной структуры тесно связан с технологическим процессом (ТП), конструкцией сборочной оснастки, формой организации производственного процесса. Поэтому выбор рациональной производственной структуры существенно влияет на обобщенные показатели производства: длительность производственного цикла, средний объем незавершенного производства, коэффициент загрузки оборудования и сборочной оснастки, количество межцеховых и межучастковых связей, себестоимость изготовления СЕ, прибыль и рентабельность производства.

### **Постановка задачи**

В самолетостроении в сборочном производстве сложились три основные формы внутризаводской специализации и соответствующий им состав цехов [2].

1. Предметная специализация. Характеризуется тем, что состав цехов определяется объектом сборки (например, цех сборки крыла, фюзеляжа и т.п.), а на участках внутри цеха выполняются последовательно все виды сборки данного агрегата, т.е. достапельная, стапельная и послестапельная. Эта форма специализации соответствует специализации по номенклатуре готовых изделий, принятой в общем машиностроении.

2. Технологическая специализация по видам работ (например сборка, монтаж, испытания, окраска) соответствует постадийной форме специализации.

3. Технологическая специализация по этапам сборки. При этой форме специализации на участке выполняется один вид сборочных процессов, но по всем агрегатам. Например, на участке концентрируются узлы, панели разных агрегатов, сходные в конструктивно-технологическом отношении. На отдельных рабочих местах бригадами исполнителей выполняются следующие виды сборочных процессов: установка на технологические фиксаторы, сверление, зенкование, герметизация, клепка, установка болтов и т.д. Эта форма специализации представляет собой соединение специализации по составным частям (СЧ) конструкции со специализацией по стадиям ТП, принятым в общем машиностроении.

При расчленении ТП сборки агрегатов по этапам сборки организуются специализированные цехи узловой и панельной сборки и агрегатные сборочно-монтажные цехи (рис.1).

В специализированных цехах узловой и панельной сборки сборка узлов, панелей и секций осуществляется на многономенклатурных точных линиях, на которых сконцентрированы узлы, панели, сходные в конструктивно-технологическом отношении.

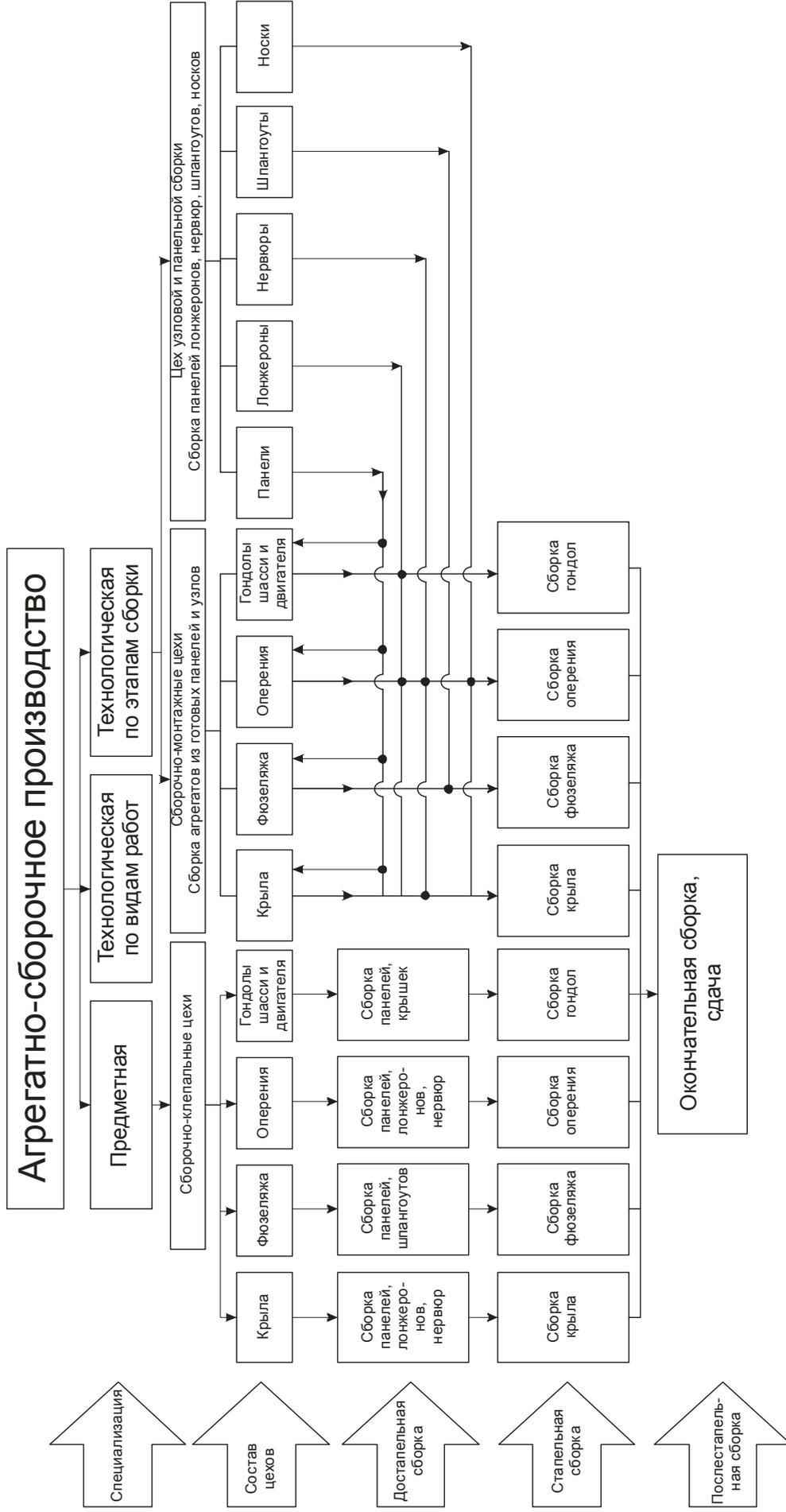


Рисунок 1 – Формы специализации и состав цехов агрегатно-сборочного производства

В агрегатных сборочно-монтажных цехах производится сборка агрегатов из готовых узлов, панелей и секций.

Предметной специализации соответствуют сборочно-клепальные цехи, в которых организуются участки узловой, стапельной и послестапельной сборки агрегатов.

В настоящее время производственную структуру сборочного производства самолетостроительных предприятий разрабатывают работники службы главного технолога, используя личный опыт и традиции предприятия. Для успешной работы предприятий в условиях конкурентной борьбы необходим более глубокий подход, основанный на технико-экономическом обосновании выбора рациональной производственной структуры из нескольких возможных вариантов.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ производственных структур и форм специализации сборочного производства и определить их влияние на технико-экономические показатели производственного процесса;
- предложить критерии оптимизации вариантов производственных структур и методику их расчета.

### **Основные результаты**

В агрегатно-сборочном производстве наиболее распространены два вида специализации: предметная и технологическая по этапам сборки. Более широкое применение нашла предметная специализация. Это объясняется особенностями развития агрегатно-сборочного производства в странах СНГ. К таким особенностям относятся [3]:

- а) невысокий уровень кооперирования производства;
- б) использование преимущественно специальных сборочных приспособлений и ограниченное применение ГСП;
- в) стремление собирать агрегаты, узлы, панели в условиях замкнутого цикла, т.е. сборку узлов, панелей, агрегатов производить в пределах одного цеха, участка.

Преимущества предметной специализации:

1. Незначительный объем незавершенного производства. При технологической специализации объем незавершенного производства при сборке узлов, панелей в 2 – 3 раза больше, чем при предметной.

2. Короткий цикл изготовления узлов, панелей. Длительность цикла сокращается за счет уменьшения времени на транспортировку СЕ с одной стадии производства на другую и уменьшения их «пролеживания» из-за несинхронности выполнения операций на рабочих местах.

3. Незначительные затраты на транспортировку узлов, панелей. затраты на транспортировку при предметной специализации: в 4 – 5 раз меньше, чем при технологической специализации.

4. Снижение затрат на сборку за счет экономии площадей, занятых для хранения заделов незавершенного производства. При предметной специализации стоимость площадей, необходимых для хранения заделов, может быть в 1,5 – 2 раза меньше, чем при технологической специализации.

5. Относительная простота организации поточных линий и планирования, заключающаяся в упрощении решения конфликтных вопросов в пределах замкнутого цикла сборки.

Основным недостатком предметной специализации является расщепленность узлов, панелей по различным цехам и участкам, что приводит к необходимости иметь на каждом участке небольшие группы рабочих, занятых на однотипных работах, к дублированию средств механизации и СТО.

Преимущества технологической формы специализации:

1. Большая производительность труда за счет специализации рабочих.

2. Повышение уровня механизации и автоматизации сборочных процессов. Подавляющее большинство цехов и участков агрегатно-сборочного производства самолетостроительных заводов организованы по принципу предметной специализации. Уровень механизации сборочных работ в этих цехах составляет примерно 35%. Самыми трудоемкими являются работы по выполнению соединений. Эти работы составляют 75,4% от трудоемкости всего процесса сборки. Для повышения уровня механизации и автоматизации сборочных работ необходимо механизировать и автоматизировать прежде всего работы по выполнению соединений. При предметной специализации в условиях распределения технологически родственных узлов и панелей по цехам и участкам выполнение этой задачи связано со значительными трудностями.

3. Возможность производить сборочные работы по типовым технологическим операциям и широко применять ГСП.

4. Снижение технологической себестоимости сборки узлов, панелей, агрегатов за счет комплекса технических и организационных мероприятий: организация поточного метода производства, применение ГСП, повышение загрузки оборудования, улучшение организации обслуживания рабочих мест, улучшение системы оперативно-календарного планирования.

5. Организация агрегатных сборочно-монтажных цехов дает возможность повысить качество сборки агрегатов за счет специализации рабочих.

Состав цехов и формы специализации агрегатно-сборочного производства рассмотрены в работах теоретиков и практиков самолетостроительного производства.

Общим выводом, характерным для всех работ, является рекомендация организовывать специализированные участки в целях увеличе-

ния серийности производства, т.е. переводить мелкосерийное производство, характерное для самолетостроения, на рельсы крупносерийного, используя все его преимущества. Но поскольку вопрос организации специализированных цехов и участков для самолетостроения является альтернативным, необходимо в каждом конкретном случае подходить к решению этого вопроса индивидуально с учетом конкретных условий.

В США сборочные цехи многих самолетостроительных заводов специализированы по технологическому признаку. Необходимо отметить высокую степень их специализации. Например, на одном самолетостроительном предприятии было создано всего 49 цехов, из них 20 – сборочных. Производственный процесс сборки агрегатов дифференцирован по цехам:

- 1) цехи узловой сборки;
- 2) агрегатные сборочно-монтажные цехи;
- 3) цехи окончательной сборки.

В цехах узловой сборки сосредоточены сходные в конструктивно-технологическом отношении узлы. В их состав входят цехи:

- 1) сборки нервюр для всех агрегатов – отъемных частей крыла, центроплана, горизонтального и вертикального оперения;
- 2) сборки лонжеронов для крыльев, центроплана;
- 3) сборки шпангоутов для всех отсеков фюзеляжа.

Агрегатные сборочно-монтажные цехи подразделяются:

- 1) на цех сборки фюзеляжа;
- 2) цех сборки крыльев;
- 3) цех сборки центроплана;
- 4) цех сборки оперения.

В этих цехах производится сборка агрегатов из готовых панелей и узлов.

В связи с таким составом цехов в работе [6] делаются выводы: «Сравнивая структуру сборочных цехов со структурой цехов наших заводов, следует отметить следующую особенность в организации сборочных цехов на американских заводах:

а) цехи американских заводов строятся по так называемому замкнутому производственному циклу: цехи агрегатной сборки получают все необходимые детали, узлы от цехов детальной и узловой сборки;

б) таким образом, вместо предметной структуры цехов, имеющей место на наших заводах, на американских заводах имеет место широкая дифференциация, специализация производственных цехов».

Для расчета рационального варианта производственной структуры предлагается методика и алгоритм расчета критерия оптимизации. В качестве критерия оптимизации принята величина приведенных затрат [3]

$$C_{пр} = C + K_{эф} \cdot K, \quad (1)$$

где  $c$  – себестоимость по изменяющимся статьям годового объема продукции по рассматриваемому варианту;  $K_{эф}$  – нормативный коэффициент эффективности;  $K$  – капитальные вложения и единовременные затраты в основные и оборотные средства.

Под себестоимостью  $c$  понимают сумму изменяющихся затрат в зависимости от вариантов построения производственной структуры, т.е. от изменения номенклатуры СЕ и совершенствования ТП. Изменение структуры сборочного производства приводит к изменению затрат по отдельным статьям, входящим в технологическую себестоимость.

При определении себестоимости по изменяющимся статьям годового объема продукции в сборочно-клепальных цехах (базовый вариант), специализированных цехах узлов, панельной сборки и агрегатных сборочно-монтажных цехах (новый вариант) предлагается затраты рассчитывать по зависимостям, учитывающим затраты на изменение конструкции в процессе освоения серийного производства: освоение выпуска изделий головной серии, освоение ритмичного мелкосерийного производства, освоение крупносерийного производства при полном использовании мощности предприятия. Это необходимо для прогнозирования затрат ресурсов (материальных, трудовых, финансовых).

#### Заработная плата производственных рабочих

$$Z_1 = b \cdot r_c \cdot \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N \left( T_{1i} \cdot x^{-m_i} + t_{к.у} \cdot x^{-m_{ку}} \right), \quad (2)$$

где  $b$  – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату;  $r_c$  – среднечасовая тарифная ставка, грн/час;  $i$  – наименование агрегатов (от 1 до  $K$ );  $j$  – программа выпуска агрегатов (от 1 до  $N$ );  $T_{1i}$  – трудоемкость выпуска первого агрегата  $i$ -го наименования, нормо/час;  $m_i$  – коэффициент, характеризующий темп снижения трудоемкости агрегата  $i$ -го наименования [4];  $t_{к.у}$  – трудоемкость конструктивных изменений первого агрегата, нормо/час;  $x$  – порядковый номер агрегата;  $m_{к.у}$  – коэффициент, характеризующий темп снижения трудоемкости конструктивных изменений [4].

Значения коэффициента  $m_i$  приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента  $m_j$ 

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $m_j$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	0,260 – 0,322
		Сборка агрегатов	0,340 – 0,377
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка узлов и панелей	0,322 – 0,36
		Сборка агрегатов	0,377 – 0,4

Заработная плата цехового персонала

$$Z_2 = d \cdot \sum_{f=1}^{P_f} G_f, \quad (3)$$

где  $G$  – сумма годовых должностных окладов административных работников данного подразделения, грн;  $P_f$  – количество подразделений;  $d$  – коэффициент, учитывающий влияние конструктивных изменений (табл. 2) [4].

Таблица 2 – Значения коэффициента  $d$ 

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $d$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	1,01 – 1,13
		Сборка агрегатов	1,05 – 1,11
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка агрегатов	1,02 – 1,06

Расходы на амортизацию технологической оснастки

$$A_{осн} = g \sum_{z=1}^{P_o} a_{осн} \cdot c_{осн}, \quad (4)$$

где  $a_{осн}$  – годовая норма амортизационных отчислений, направляемая на восстановление оснастки;  $c_{осн}$  – стоимость единицы оснастки, грн;  $P$  – потребное количество оснастки;  $g$  – коэффициент, учитывающий влияние конструктивных изменений (табл. 3).

Таблица 3 – Значения коэффициента  $g$ 

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $g$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	1,01 – 1,12
		Сборка агрегатов	1,03 – 1,4
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,10
		Сборка агрегатов	1,0 – 1,13

Расходы на амортизацию и содержание площадей

$$A_{пл} = r(a_{пл} + b_{пл}) \cdot P \cdot \sum_{i=1}^{P_s} S_i, \quad (5)$$

где  $r$  – коэффициент, учитывающий влияние конструктивных изменений (табл. 4);  $a_{пл}$  – годовая норма амортизационных отчислений по площадям, принимая равной 5% от их стоимости;  $b_{пл}$  – норма затрат на содержание и текущий ремонт площадей, принимая равной 10,8% от их стоимости;  $P$  – стоимость 1 м<sup>2</sup> производственной площади для цехов агрегатной сборки, грн;  $S_i$  – производственная площадь  $i$ -го порядкового номера оснастки;  $i$  – порядковый номер оснастки (от 1 до  $P_s$ ).

Таблица 4 – Значения коэффициента  $r$ 

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $r$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,2
		Сборка агрегатов	1,0 – 1,4
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,2
		Сборка агрегатов	1,0 – 1,12

Расходы на ремонт оснастки

$$R = \rho \sum_{i=1}^{P_o} p \cdot c_{осн}, \quad (6)$$

где  $\rho$  – удельные затраты на ремонт оснастки в зависимости от ее стоимости, грн/грн стоимости оснастки;  $C_{осн}$  – стоимость единицы оснастки, грн;  $\rho$  – коэффициент, учитывающий влияние конструктивных изменений (табл. 5).

Таблица 5 – Значения коэффициента  $\rho$

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $\rho$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,14
		Сборка агрегатов	1,032 – 1,4
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,12
		Сборка агрегатов	1,0 – 1,12

Расходы на транспортировку узлов, панелей

$$T = t_k \cdot \sum_{S=1}^{P_T} c_e \cdot l, \quad (7)$$

где  $c_e$  – стоимость одной ездки, грн;  $l$  – количество ездок;  $S$  – количество видов транспортных средств (от 1 до  $P_T$ );  $t_k$  – коэффициент, характеризующий влияние конструктивных изменений (табл. 6).

Таблица 6 – Значения коэффициента  $t_k$

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $t_k$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,3
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,2

Изменение производственной структуры приводит к изменению размера основных и оборотных средств предприятия. Например, организация специализированного цеха узловой и панельной сборки может привести к дополнительным капитальным вложениям, изменению объема незавершенного производства вследствие изменения циклов сборки и объема межцеховых связей.

Особенно подвержено изменению количество специальной технологической оснастки, т.к. при концентрации СЕ, сходных по конструктивно-технологическим признакам, возникает необходимость в использовании ГСП. Капитальные вложения в основные и оборотные средства и единовременные затраты определяют по зависимости

$$K = K_{об} + P_{пл} + E + H + P_{осн}, \quad (8)$$

где  $K_{об}$  – стоимость изменяющейся части парка оборудования, грн;  $P_{пл}$  – стоимость изменяющейся части производственных площадей;  $E$  – единовременные затраты на проектные работы, перестановку и монтаж оборудования, оснастки;  $H$  – изменение объема незавершенного производства;  $P_{осн}$  – стоимость изменяющейся части специальной оснастки.

Стоимость изменяющейся части производственных площадей

$$P_{пл} = \rho_k \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^{P_s} P_o \cdot h_1(1 + \alpha), \quad (9)$$

где  $h_1$  – удельная производственная площадь данного типа оснастки с проходами, м<sup>2</sup>;  $P_o$  – количество оснастки данного типа;  $\alpha$  – доля вспомогательных площадей, %;  $\rho$  – стоимость 1 м<sup>2</sup> производственной площади для цехов агрегатной сборки, грн;  $\rho_k$  – коэффициент, учитывающий влияние конструктивных изменений (табл. 7).

Таблица 7 – Значения коэффициента  $\rho_k$

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $\rho_k$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,14
		Сборка агрегатов	1,02 – 1,44
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка узлов и панелей	1,0 – 1,14
		Сборка агрегатов	1,0 – 1,12

Стоимость изменяющейся части оснастки

$$P_{осн} = k_o \cdot \sum_{z=1}^{P_s} \rho_o \cdot c_{осн}, \quad (10)$$

где  $k_o$  – коэффициент, учитывающий влияние конструктивных изменений (табл. 8).

Таблица 8 – Значения коэффициента  $k_o$ 

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $k_o$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	1,01 – 1,08
		Сборка агрегатов	1,03 – 1,44
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка узлов и панелей	1,02 – 1,14
		Сборка агрегатов	1,0 – 1,13

Объем незавершенного производства

$$H = q \cdot \sum_{j=1}^{P_f} T_{ц_j} \cdot K_z \cdot a_j \cdot c_j, \quad (11)$$

где  $T_{ц_j}$  – длительность производственного цикла изготовления продукции в данном подразделении, дни;  $K_z$  – коэффициент готовности; коэффициент готовности представляет собой отношение трудоемкости незаконченной в изготовлении продукции к полной ее трудоемкости;  $a_j$  – среднесуточный выпуск продукции в комплектах по данному подразделению, компл./день;  $c_j$  – себестоимость изготовления комплекта продукции;  $q$  – коэффициент, учитывающий влияние конструктивных изменений (табл. 9).

Таблица 9 – Значения коэффициента  $q$ 

Специализация	Сборка в условиях различных форм специализации		Значения коэффициента $q$
Предметная	Сборочно-клепальный цех	Сборка узлов и панелей	1,04 – 1,21
		Сборка агрегатов	1,1 – 1,3
Технологическая	Сборка в специализированном и агрегатном сборочно-монтажных цехах	Сборка узлов и панелей	1,1 – 1,24
		Сборка агрегатов	1,01 – 1,07

В качестве рационального варианта производственной структуры принимается вариант с наименьшими затратами, рассчитанными при одинаковых программах выпуска СЕ и степени освоения производства.

Последовательность расчета приведенных затрат приведена на рис. 2.

### Алгоритм расчета критерия оптимизации

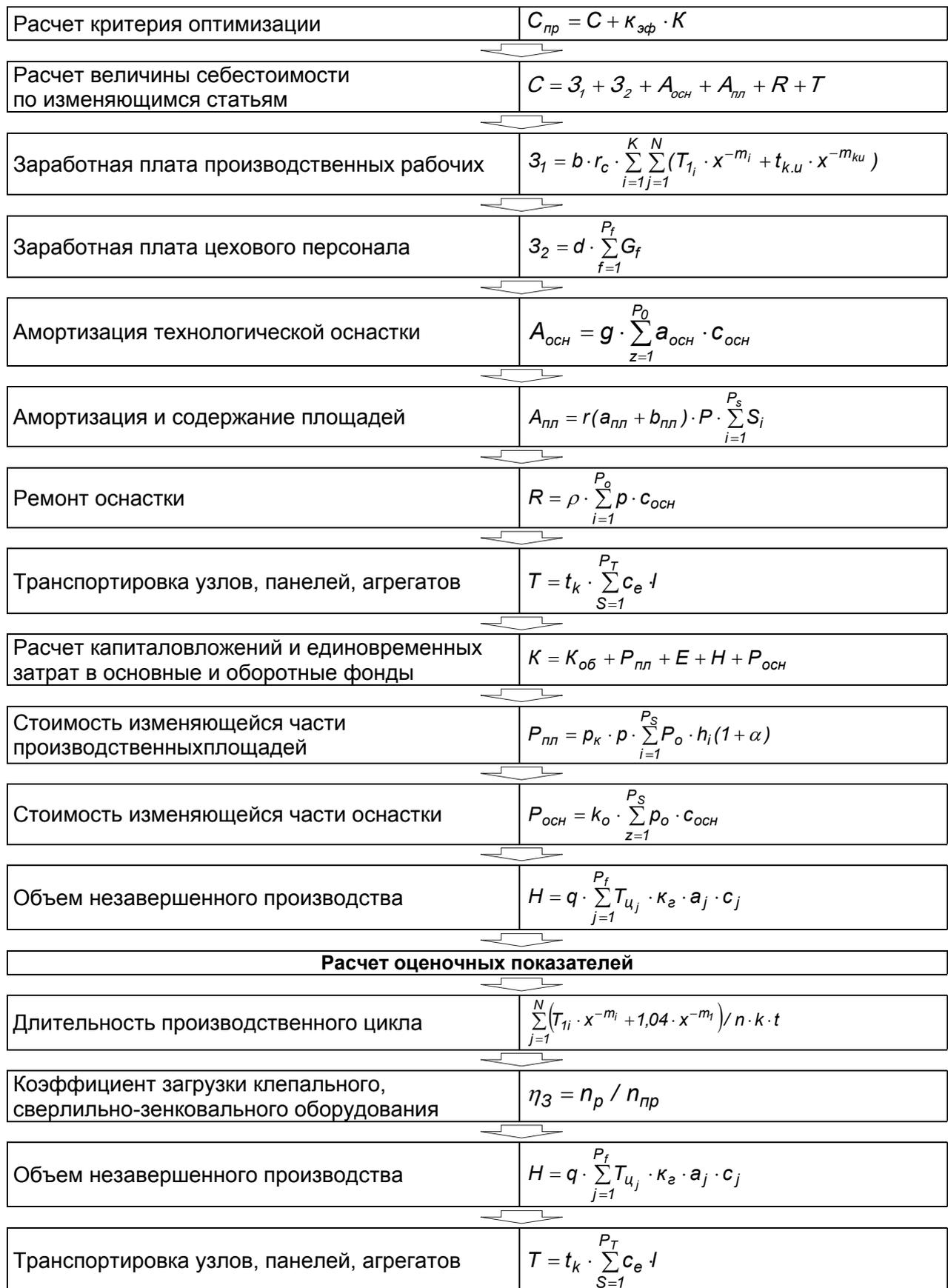


Рисунок 2 – Последовательность расчета приведенных затрат

## Заключение

1. Предложенные методика и алгоритм определения рациональной производственной структуры цехов сборочного производства могут быть положены в основу при постановке на производство новых изделий, значительном или кардинальном изменении средств оснащения сборочного производства, значительных изменениях спроса на самолетостроительную продукцию в условиях единичного или мелкосерийного производства.

2. Учет закономерностей изменения объемов конструктивных изменений (возмущающий фактор) может быть использован при расчете и планировании ресурсов предприятия (материальных, трудовых, финансовых) в процессе производства.

## Список использованных источников

1. Единая система технологической подготовки производства [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 13 с.

2. Григорьев, В.П. Технология самолетостроения [Текст] / В.П. Григорьев. – М.: Оборонгиз, 1960. – 552 с.

3. Установление рациональных форм специализации состава цехов и участков основного производства [Текст]. – М.: НИАТ, 1990.

4. Корнилов, Л.Н. Учет затрат на конструктивные изменения в период освоения серийного производства новых изделий [Текст] / Л.Н. Корнилов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2003. – Вып. 21. – с. 154 – 161.

5. Хонко, Я. Планирование и контроль капиталовложений [Текст] / Я. Хонко. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.

6. Организация производства на промышленных предприятиях США. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – 476 с.

*Поступила в редакцию 14.11.2012.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ф.В. Новиков,  
Харьковский национальный экономический  
университет, г. Харьков*