

Анализ составляющих и резервов повышения производительности сборочной линии

77-48211/665276

12, декабрь 2013

Соловьёв А. И., Джафарова Ш. И.

УДК 621.71

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

a-solovev@bk.ru

a-dzhafarova@bk.ru

On the basis of production and theoretical investigations a calculation model for the performance of the Assembly line by taking into account the elementary components of downtime.

This model can be used as the block of automated systems of technological preparation of Assembly manufacture with the analysis of any basic components of downtime, which improve the quality of the design solutions and productivity of the Assembly process.

Plan to conduct additional studies to the accumulation of statistical data and the selection of variants of standard design of technological solutions Assembly.

Развитие высокотехнологичных машиностроительных производств невозможно без наличия станочного оборудования.

За последние годы в России выпуск продукции станкоинструментальной промышленности резко сократился, что не способствует выполнению задач, стоящих перед материалобработчиками.

На проектной стадии создания нового сборочного производства разработчику необходимо иметь расчетную модель производительности сборочного процесса.

Традиционно теоретическую производительность процесса сборки определяют соотношением

$$Q = \frac{m}{T_{\text{оп}}} = \frac{m}{T_o + T_b}, \quad (1)$$

где m – число параллельных потоков сборки, шт;

$T_{\text{оп}}$ – оперативное время сборки, мин;

T_o – основное (технологическое) время сборки для непосредственного выполнения сборочного процесса, мин;

T_b – вспомогательное (неперекрываемое) время сборки для совершения сборщиками действий, дающих возможность подготовить и осуществить сборочную операцию или переход (взять деталь, закрепить её в приспособлении, переместить сборочный инструмент, соединить собираемые детали и т.п.), мин.

До момента времени θ_1 поточная линия сборки работает бесперебойно, сохраняя расчетный такт сборки. В момент времени θ_1 произошла неполадка (сборка некачественной продукции, поломка сборочного инструмента, поступление на сборочную операцию некачественных комплектующих, ожидание поставок комплектов на сборку). Таким образом, затрачено время $(\theta_2 - \theta_1)$, а количество собранных узлов (Z) не увеличивается (рис.1).

При этом отклонения трудоемкости операций от такта рассматриваются в пределах величин, допускаемых поточным процессом сборки. Если за период времени $\theta_n - \theta_0$ (рис.1) с поточной линии сборки выпущено Z_{ϕ} штук станков (или узлов), то фактическая производительность имеет вид

$$Q_{\phi} = \frac{Z_{\phi}}{\theta_n - \theta_0}, \quad (2)$$

где $\theta_n - \theta_0$ - общее время использования поточной сборочной линии (мин),
 которое состоит из времени работы линии $\sum_{i=0}^n \theta_{p_i}$; и времени простоев $\sum_{i=1}^n \theta_{п_i}$.

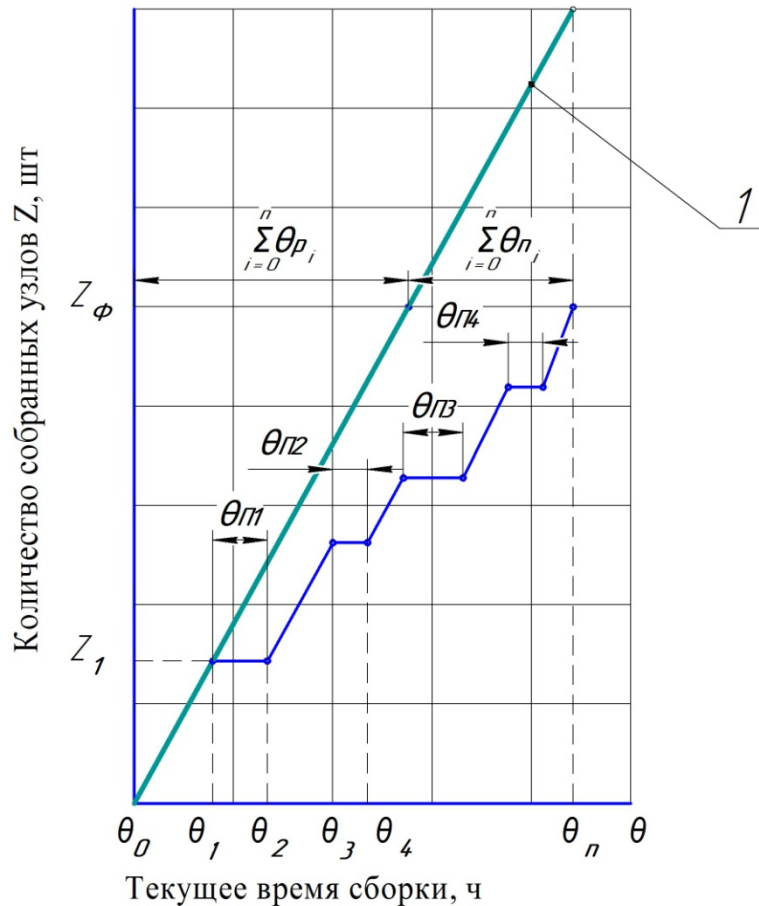


Рис.1. Зависимость количества собранных узлов (или станков) от простоев, происходящих в течение времени сборки:
 1 - теоретическая производительность сборки

В свою очередь время простоев состоит из цикловых $\sum_{i=0}^n \theta_{ц_i}$ и внецикловых, $\sum_{i=0}^n \Delta_i$, являющихся случайными величинами.

Если время работы и время цикловых простоев сборочной линии может быть учтено в составе оперативного времени сборки(1), то элементарные составляющие внецикловых простоев необходимо исследовать отдельно.

Так как элементарные составляющие простоев сборочной поточной линии независимы между собой, то можно применить, по аналогии с расчетом суммарной погрешности обработки [1], вероятностный метод их суммирования

$$Q_{\phi} = \frac{m}{\sqrt{K_T^2 T_{оп}^2 + \sum_{i=1}^n (K_i \Delta_i)^2}}, \quad (3)$$

где K_T и K_i - коэффициенты относительного рассеивания, характеризующие отношение величины поля рассеивания элементарной составляющей простоев при нормальном законе распределения (для которого $K_i = 1$) к величине действительного поля рассеивания.

Для проверки сделанных предположений, а так же выявления резервов повышения производительности сборочных поточных станкостроительных линий, проведены исследования в условиях производства на заводе «Красный Пролетарий».

Организация участков сборки на станкостроительном заводе осуществляется по предметному признаку. Сборочные участки организованы как технологически замкнутые с необходимым составом основного и вспомогательного оборудования в соответствии с технологическим процессом сборки.

Сборочному процессу передней бабки токарно-винторезного станка соответствует краткое содержание работ в таблице 1, которые выполняют при подвижной поточной сборке с дифференциацией процесса сборки на операции и переходы. Объект периодически перемещается.

Таблица 1.

Краткое содержание работ, выполняемых на операциях сборочного конвейера передней бабки токарно-винторезного станка

№ операции	Краткое содержание	Количество сборщиков	Средства технологического оснащения
1.	Подготовка корпуса, установка его на конвейер, сборка комплектов малых валиков	2	Оправка, молоток, гаечные ключи
2.	Установка рычагов и шестерен	1	То же
3.	Запрессовка подшипников, установка блоков шестерен, запрессовка пробки	1	То же
4.	Установка вала и рычагов кулисного механизма	1	То же
5.	Установка шестерен и рукояток	1	То же
6.	Запрессовка шпинделя, установка фланцев и гаек	2	Пресс, оправки, молоток, гаечные ключи
7.	Установка малых валиков и рукояток	1	Оправка, молоток, гаечные ключи
8.	Установка патрубков, трубопровода, лотка	1	То же

Хронометраж сборочного процесса передней бабки токарно-винторезного станка проводился в течение трех дней с расчетом на то, чтобы

определить затраты времени на единицу выпускаемой продукции в начале, в середине и в конце смены.

Закономерности появления простоев за период наблюдений, представлены на рис.2,а. Отсюда видно, что до 30% простоев составляли 40 минут, а в отдельных случаях достигали 60 минут. В тот же период время безотказной работы соответствовало диаграмме на рис. 2,б. Все это указывает на неритмичность работы сборочного конвейера.

Обобщая результаты заводских наблюдений и источников технической литературы установим законы распределения и величины коэффициентов относительного рассеивания, находящиеся в формуле (3).

Проведенные наблюдения и хронометраж показали, что основными причинами потерь времени на сборочном конвейере являются:

- 1) отсутствие деталей, поступающих со склада-62%;
- 2) поступление некачественных деталей – 15%;
- 3) технологическое наследование отрицательных признаков качества деталей – 23%.

Распределение оперативного времени сборки $T_{оп}$, как показали производственные наблюдения, подчиняется закону нормального распределения.

Удлинение сборочного цикла работы линии может быть вызвано следующими факторами.

1) Временем потраченным на подготовительно-заключительные приемы работы $T_{п.з.}$, которое может рассматриваться как случайная величина и её распределение подчиняется закону Гаусса. Таким образом, элементарная составляющая интервала выпуска узлов (станков), вызванная подготовительно-заключительными затратами времени составит

$$\Delta_{п.з.} = \frac{T_{п.з.}}{n},$$

где n – число узлов (станков) партии, поступающих одновременно на сборку.

2) Затратами времени на обслуживание рабочего места и естественные надобности человека $\Delta_{o.б.}$. Они тоже подчиняются закону Гаусса и имеют нормальное распределение [2].

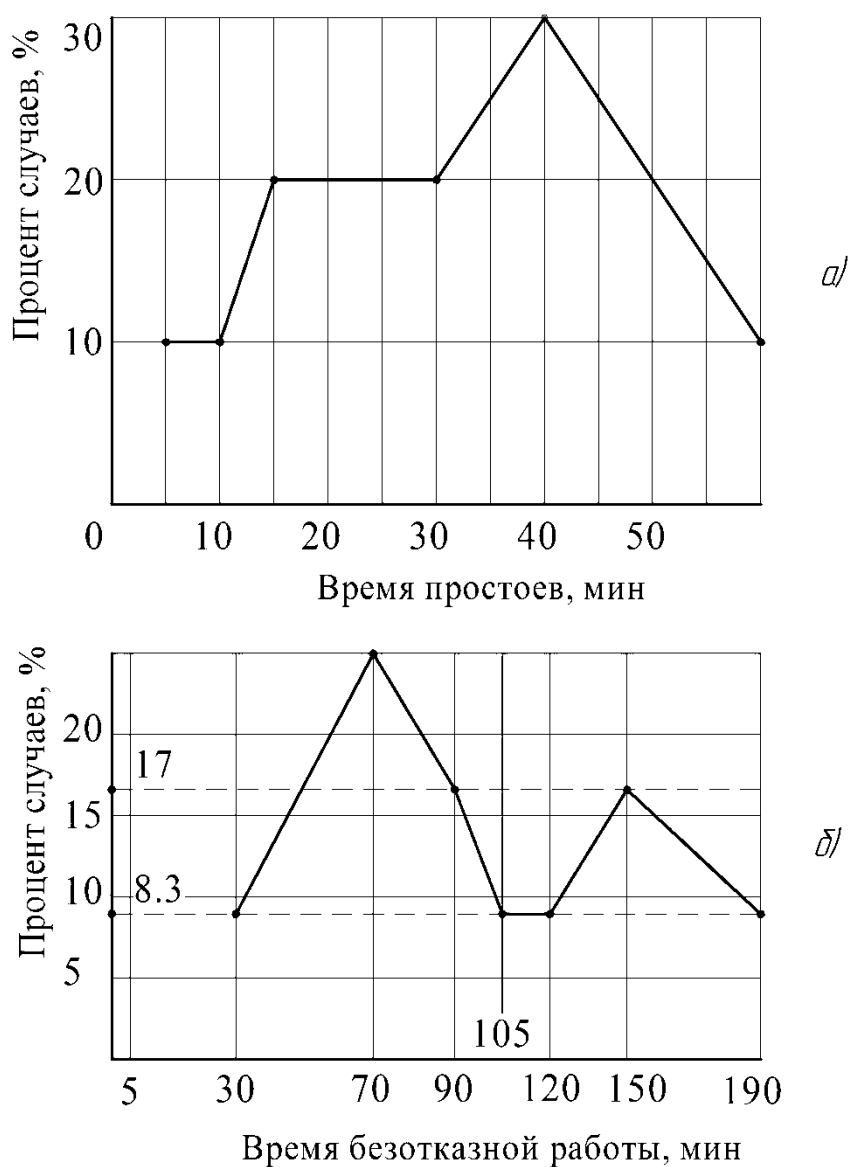


Рис. 2. Диаграммы распределения длительности.
а) простоев и б) безотказной работы сборочной линии
передней бабки токарно-винторезного станка

3) Затратами времени на сборку бракованных узлов (изделий) $-\Delta_{бр}$, когда в силу ряда причин (усталость рабочего, отклонения от соблюдения хода сборочного процесса, технологическое наследование отрицательных

признаков качества и т.п.) имеет место брак в сборочных цехах. Этот брак, может быть исправим, но время, затраченное на сборку таких узлов относится к внецикловым потерям и, хотя сборочная поточная линия работала в этот период, но давала некачественную продукцию

$$\Delta_{\text{бр}} = K_{\text{бр}} \times T_{\text{оп}} ,$$

где $K_{\text{бр}}$ - коэффициент брака; $K_{\text{бр}} = \frac{n_{\text{бр}}}{n}$;

$n_{\text{бр}}$ - число бракованных узлов в единицу времени (смена);

n - общее число выпущенных узлов в единицу времени (смена), а распределение $\Delta_{\text{бр}}$ считать нормальным.

4) Затратами времени на настройку сборочного оборудования и оснастку-
 $\Delta_{\text{н.с.}}$.

В процессе работы сборщика могут произойти отказы, вызванные либо мгновенным повреждением, либо повреждением, связанным с накоплением явлений, сопутствующих износу. Эти отказы в общем виде распространяются как на основное сборочное оборудование, так и на сборочные приспособления.

Распределение времени настройки сборочного оборудования и приспособлений можно принять близким к экспоненциальному закону распределения по аналогии с настройкой инструментов на металлорежущих станках [1].

Очевидно, что здесь меньшей длительности настройки $\Delta_{\text{н.с.}}$ соответствует большая плотность вероятности, когда отказы сборочного оборудования и оснастки меньшей продолжительности происходят чаще, чем отказы с большей продолжительностью.

5) Затратами времени, связанными с усталостью рабочего - $\Delta_{\text{ус}}$.

В течение рабочего дня происходит изменение физиологических показателей рабочего – сборщика, представленные на рис. 3 [3].

Так как при этом доминирующими являются несколько факторов, действующих в течение рабочего дня, то распределение $\Delta_{ус}$ подчиняется закону равной вероятности [4].

б) Затратами времени, связанными со сборкой станков (узлов) из некачественных узлов (деталей) - $\Delta_{н.д.}$.

На сборочную поточную линию поступают наряду с деталями и узлами, выполненными в соответствии с техническими требованиями, некачественные детали и узлы. Тем самым удлиняется сборочный интервал выпуска собранных узлов. Так как $\Delta_{н.д.}$ меньших значений встречается чаще, чем больших, можно считать, что их распределение подчиняется экспоненциальному закону.

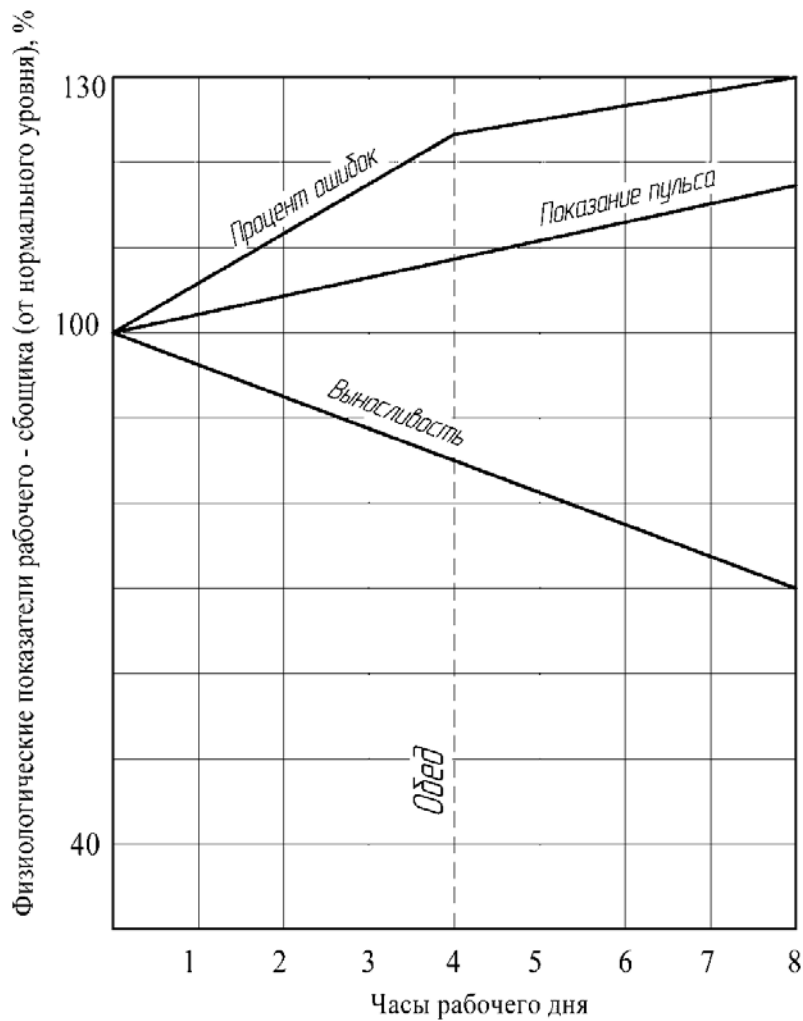


Рис. 3. Изменение физиологических показателей рабочего-сборщика в течение рабочего дня

7) Затратами времени, связанными с ожиданием поставок комплектов с соседней линии и деталей из механического цеха - $\Delta_{п.д.}$.

При этом время ожидания большой величины встречается реже, чем малой, поэтому распределение $\Delta_{п.д.}$ так же можно считать экспоненциальным.

С учетом вышесказанного формула (3) примет вид расчетной модели

$$Q_{\Phi} = \frac{m}{\sqrt{K_T^2 T_{оп}^2 + (K_1 \times \Delta_{пз})^2 + (K_2 \times \Delta_{об})^2 + (K_3 \times \Delta_{бр})^2 + (K_4 \times \Delta_{нс})^2 + (K_5 \times \Delta_{ус})^2 + (K_6 \times \Delta_{нд})^2 + (K_7 \times \Delta_{п.д.})^2}}, \quad (4)$$

где для нормального распределения

$$K_T = K_1 = K_2 = K_3 = 1;$$

для закона равной вероятности

$$K_5 = 1,73;$$

для экспоненциального закона примем

$$K_4 = K_6 = K_7 = 1,5.$$

Тогда

$$Q_{\Phi} = \frac{m}{\sqrt{T_{\text{оп}}^2 + \Delta_{\text{пз}}^2 + \Delta_{\text{об}}^2 + \Delta_{\text{бр}}^2 + (K_4 \times \Delta_{\text{нс}})^2 + (K_5 \times \Delta_{\text{ус}})^2 + (K_6 \times \Delta_{\text{нд}})^2 + (K_7 \times \Delta_{\text{п.д}})^2}}$$

Введем Φ_j - коэффициент роста производительности сборочной линии с различными функциями управления

$$\Phi_j = \frac{Q_j}{Q_{\Phi}}.$$

где - Q_j - производительность сборочной линии с теми же функциями.

В результате внедрения организационно-технических мероприятий потери времени "п -го" вида можно сократить в β - раз, тогда производительность поточной линии сборки повысится и составит

$$Q_j = \frac{m}{\sqrt{T_{\text{оп}}^2 + \sum_{i=1}^{n-1} (K_i \times \Delta_i)^2 + \left(\frac{K_i \times \Delta_i}{\beta}\right)^2}}.$$

Общие резервы повышения производительности сборочной линии определяются на основе комплексного изучения всех видов потерь.

Полученные результаты требуют дополнительных производственных исследований по накоплению статистического материала и вариантов типовых проектных технологических решений. Однако они позволяют

рекомендовать использовать полученную расчетную модель (4) в качестве блока автоматизированной системы технологической подготовки сборочного производства.

Принятый подход к построению расчетной модели позволяет учитывать и анализировать любые элементарные составляющие простоев, связанные с выявлением резервов повышения производительности сборочных процессов.

С её помощью за короткое время можно рассчитать большое количество организационно-технических вариантов построения сборочных линий и выбрать наиболее рациональный из них. Тем самым улучшить качество проектных решений.

Список литературы

1. Технология машиностроения: В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения: / ред. А.М. Дальский, А.И. Кондаков. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 478 с.
2. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1980. 298 с.
3. Руководство по физиологии труда /Н.Ф. Измеров, А.А. Виру, М.И. Виноградов, С.И. Горшков, З.М. Золина, А.И. Колотилова, С.А. Косилов, М.Г. Могендович, А.О. Навакатилян, В.А. Пухов, А.Л. Решетюк, В.В. Розенблат, К.М. Смирнова, Л.Я. Зыбковец, Г.И., Куренков, Л.П. Павлова; под ред. З.М. Золиной, Н.Ф. Измерова. М.: Медицина, 1983. 528 с.
4. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1972. 216 с.