Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 22.07.2026 15:30:19
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»

Вартанов М.В., Шандров Б.В.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ: ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ

Методические указания к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Технология и автоматизация производства»
для магистрантов по направлению 15.04.01 «Машиностроение»

Москва 2026

УДК 621.7
ББК
В18

Рецензенты: Шуваев В. Г. – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты», Самарский государственный технический университет, г. Самара;

Березин С.Я. – д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Забайкальского государственного университета

Вартанов М.В., Шандров Б.В.

Проектирование автоматических линий: этапы проектирования и расчеты: методические указания\ М.В.Вартанов, Б.В. Шандров. – Москва: Московский Политех, 2026.- 36 с.

В методических указаниях излагается методика проектирования автоматических линий, а также рассматривается подход к расчету и проектированию автоматизированных загрузочных устройств на основе экспериментально-аналитического исследования надежности их работы.

Предназначены для студентов магистратуры, обучающихся по направлению 15.04.01 «Машиностроение» для выполнения курсового проекта по дисциплине «Технология и автоматизация производства».

©Вартанов М.В.. Шандров Б.В. 2026
© Московский Политех, 2026

Содержание

Цель работы 4
1 Этапы проектирования автоматической линии. 4
1.1 Исходные данные. 5
1.2 Основные понятия и определения. 5
1.3 Виды производительности автоматической линии и показатели надежности ее работы. 6
1.4 Определение требуемой производительности АЛ. 11
1.5 Данные по участку и его структура. 12
1.6 Краткое описание структуры автоматической линии. 13
1.7 Показатели надежности работы оборудования АЛ 14
2 Исследование надёжности работы автоматической линии. 16
2.1 Основные понятия и определения. 18
2.2 Назначение, конструкция и работа загрузочного устройства. 20
2.3 Расчет показателей надежности автооператора. 23
2.3.1 Наблюдение и хронометраж. 24
2.3.2 Определение параметра потоков отказов. 24
2.4 Построение функции надежности, проверка полученных результатов 26
2.5 Расчет средней длительности единичных простоев для обнаружения и устранения отказов. 28
2.6 Определение коэффициента технического использования автооператора. 28
3 Расчет и проектирование автоматизированных загрузочных устройств. 26
3.1 Конструкция и работа загрузочного устройства. 32
3.2 Расчет элементов цикла работы автооператора и построение циклограммы. 33
3.3 Конструкция автооператора. 37
3.4 Определение усилия захвата для удержания детали. 40
3.5 Содержание графической части 36
Приложение 37
Литература 52

Цель работы

В результате выполнения работы магистрант должен получить практические навыки по определению производительности и надежности автоматической линии, выбору компоновки и транспортно-загрузочных устройств, определению их основных параметров.

Задачи работы:

- изучить принцип работы автоматической линии и загрузочного устройства;

- освоить методику расчета производительности и надежности автоматической линии и транспортно-загрузочных устройств;

- обработать результаты исследований и сделать выводы;

- разработать структурно-компоновочную схему автоматической линии;

- разработать компоновку позиции автоматической линии;

- построить циклограмму работы позиции автоматической позиции (участка АЛ);

- выполнить расчет автоматического устройства.

1 Поэтапный расчет параметров производительности и надежности участка автоматической линии

1.1 Исходные данные

1. Чертеж обрабатываемой заготовки или сборочного узла.

2. Годовая программа выпуска.

3. Технологический процесс обработки детали

4. Количество изготавливаемых деталей (или собираемых изделий).

5. Коэффициент загрузки автоматической линии

6. Действительный годовой фонд времени оборудования:

- для односменной работы Fг=2020 час.

- для двухсменной работы Fг=4040 час.

- действительный фонд времени работы оператора за смену $F_{см}$=8,2 часа.

1.2 Основные понятия и определения

Производительность автоматической линии (темп выпуска) – количество годных деталей, выпускаемых в единицу времени.

Нормальная производительность автоматической линии – количество годных деталей, которые может выпускать линия в единицу времени при условии, что не будет ее простоев.

Такт выпуска автоматической линии – время непрерывной работы, по истечении которого автоматическая линия выдает одну обработанную деталь (собираемое изделие).

Пиковые затраты времени на автоматической линии – сумма технологического времени обработки и не совмещенного с ним времени на операциях транспортирования, загрузки и т.д.

Внецикловые затраты времени на автоматической линии – сумма времени собственных простоев оборудования участка автоматической линии, наложенных простоев из-за других участков линии, а также времени организационно-технического обслуживания (в том числе время на наладку оборудования).

Собственные простои оборудования автоматической линии – перерыв в работе участка автоматической линии, возникающий вследствие отказа оборудования, необходимый для восстановления его работоспособности.

Наложенный простой участка автоматической линии – перерыв в работе автоматической линии, возникающий вследствие отказа оборудования, других участков автоматической линии, приведших к опустошению накопителя заготовок или переполнению накопителя обработанных деталей.

Работа – интервал времени, в течение которого линия выпускает продукцию.

Отказ – любое нарушение работоспособности оборудования линии.

1.3 Виды производительности автоматической линии и показатели надежности ее работы

Производительность автоматических линий, как и любого другого автоматизированного оборудования, определяется количеством изготовленных деталей в единицу времени. Однако, в связи с тем, что автоматическая линия не может работать непрерывно в течение длительного времени и по-

сле определенного периода бесперебойной её работы наступает период простоя по тем или иным причинам, возникает необходимость дифференцированного подхода к понятию производительности.

Годовой фонд времени работы автоматической линии $F_г$ складывается из времени полезной работы $F_{раб}$ и суммарных простоев линии по различным техническим, организационным и прочим причинам $\sum F_{пр}$

$$F_г = F_{раб} + \sum F_{пр} \qquad (1.1)$$

Простои по техническим причинам складываются из потерь времени на замену, регулировку и подналадку инструментов ($\sum T_{с.и.}$), а также из потерь времени на ремонт, отладку-регулировку различных механизмов автоматической линии ($\sum T_{рем.}$). Этот вид потерь времени может быть вызван плановыми и случайными причинами.

Простои по организационным причинам связаны с отсутствием на АЛ заготовок, недогрузкой станков, отсутствием электроэнергии, наладчика и т.д.

Производительность АЛ при полном отсутствии простоев, когда работа линии состоит в периодическом повторении рабочего цикла, называется <u>цикловой</u> и определяется по формуле:

$$Q_ц = 60/(t_{рх} + t_{хх}) \text{ шт./час.}, \qquad (1.2)$$

где $t_{рх} + t_{хх} = T_ц$,

$t_{рх}$ – время рабочих ходов;

$t_{хх}$ – время холостых ходов.

Время $t_{хх}$ составляет внутрицикловые потери рабочего времени.

В связи с тем, что АЛ после определенного времени безотказной работы останавливают для восстановления работоспособности, т.е. для выполнения ремонтных или профилактических работ по обслуживанию инструментов и механизмов станков, производительность ее будет снижаться

за счет этих внецикловых потерь времени, к которым в первую очередь относятся $\sum T_{с.и.}$ и $\sum T_{рем.}$

Коэффициент готовности автоматической линии в общем случае можно определить следующим соотношением (зная количество узлов, устройств, инструментов, из которых состоит линия):

$$\eta_{Г} = \frac{1}{1+\frac{1}{T_{Ц}}\Sigma B_i+\frac{1}{T_{Ц}}\Sigma\frac{t_{см}+t_p}{T}}, \quad (1.3)$$

где $\sum B_i$ – удельная длительность восстановления элементов линии;

T – стойкость инструмента;

$t_{см}$ – время на замену и регулировку инструмента за период стойкости;

t_p – время непосредственного резания инструментом.

Производительность машин с учетом этих потерь времени называют расчетной и определяют по формуле:

$$Q_р = 60/(T_ц + \sum T_{с.и}/N + \sum T_{рем.}/N) \text{ шт/час} \quad (1.4)$$

При расчетах $\sum T_{с.и.} + \sum T_{рем}$ удобнее называть простоями по техническим причинам и обозначить $\sum T_{пр.т.}$ Тогда

$$Q_p = \frac{60}{T_ц+\Sigma T_{пр.Т.}/N}, \quad (1.5)$$

где N – количество деталей, обработанных за время наблюдения.

Зависимость между $Q_ц$ и $Q_Р$ можно представить в виде уравнения

$$Q_р = Q_{ц} \cdot \eta_{т.и.}, \quad (1.6)$$

где $\eta_{т.и} = 1/(1+\sum B_т)$ – коэффициент технического использования АЛ, $B_т$ – удельная длительность простоев оборудования по техническим причинам.

В случае расчета автоматической линии, разделенной на участки или линии несинхронного действия, учитывают влияние наложенных простоев смежных участков, пользуясь соотношением:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{1}{1+\gamma_{\frac{i-1}{i+1}} B_i}, \quad (1.7)$$

где $\gamma_{\frac{i-1}{i+1}}$ – коэффициент наложенных простоев.

Примечание: значение γ_{i+1} рассчитывают для замкнутых технологических систем с транспортером возврата спутников.

Расчеты производятся как по ходу технологического потока, так и против него (для замкнутых систем).

Возможны два варианта:

1) $B_1 \approx B_2 \approx \ldots \approx B_n$ или $\Delta B \leq 15\%$, тогда

$$\eta_{\Gamma} = \frac{1}{1+\Sigma\frac{B_i\gamma}{n}} \quad (1.8)$$

2) $B_1 \neq B_2 \neq \ldots \neq B_n$;

В этом случае минимальные значения коэффициентов готовности определяются по всем позициям, используя соотношение:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{1}{1+B_i\gamma_{\frac{i-1}{i+1}}} \quad (1.9)$$

Примечание: в дальнейших расчетах используется минимальное из найденных значений коэффициента готовности.

Параметр $B_т$ складывается из относительного времени на восстановление оборудования из-за случайных отказов $B_{сл}$ и относительного времени плановых простоев по техническим причинам $B_{пл}$:

$$B_т = B_{сл} + B_{пл} \quad (1.10)$$

Плановые простои определяются по формуле:

$$B_{пл} = B^{I}_{пл} + B^{II}_{пл}, \quad (1.11)$$

где $B^{I}_{пл}$ – удельные простои в связи с плановым ремонтом оборудования в течение года;

$B^{II}_{пл}$ – удельные простои в связи с плановой текущей профилактикой.

$B_{пл}$ принимаются по нормативным данным в зависимости от технического уровня линии, ее сложности и структуры (см. приложение).

Удельная длительность восстановления оборудования $B_{сл}$ представляет собой соотношение:

$$B = \bar{\tau}_в / \bar{\tau}_р = \lambda / \mu \,, \qquad (1.12)$$

где $\bar{\tau}_в = 1/\mu$ – среднее время устранения одного отказа,

μ – поток восстановления (устранения отказов) в единицу времени;

$\bar{\tau}_р = 1/\lambda$ – среднее время безотказной работы (наработка на отказ),

λ – поток (интенсивность) отказов на линии в единицу времени.

При длительной эксплуатации АЛ возможны также простои по организационным причинам. Если учитывать эти простои, то получим общую производительность:

$$Q_о = Q_ц \cdot \eta_о \,, \qquad (1.13)$$

где $\eta_о$ – коэффициент общего использования АЛ, который определяется как

$$\eta_о = 1/(1+B_т+B_{орг}) \text{ шт./час.} \qquad (1.14)$$

$B_{орг}$ – удельные простои по организационным причинам, которые определяются по данным наблюдений и зависят от уровня организации эксплуатации линии.

Основными параметрами надежности АЛ являются:

$B_{сл}$ – величина случайных отказов, принимаемая по данным многочисленных наблюдений за работой линии и исследований АЛ и определяемая с учетом структуры компоновки линии, вида связи между участками и количества участков;

$\eta_г = 1/(1+B_{сл})$ – коэффициент готовности АЛ, учитывающий простои линии только для устранения случайных отказов;

$\eta_{т.и.}$ – коэффициент технического использования, учитывающий плановые и случайные простои оборудования;

$\eta_{о}$ – коэффициент общего использования, учитывающий все виды простоев АЛ.

1.4 Определение требуемой производительности АЛ

Требуемая производительность $Q_{тр}$ – это минимально допустимая производительность АЛ в смену, гарантированно обеспечивающая заданный годовой выпуск изделий $N_г$.

В целом по конечной годной продукции (для последнего станка АЛ) она определяется по формуле:

$$Q_{тр} = N_г \cdot F_{см} / F_г \cdot \eta_э \cdot P \text{ шт./см}, \quad (1.15)$$

где $N_г$ – годовая программа выпуска (шт./год);

$F_{см}$ – сменный фонд времени (8,2 час.);

$F_г$ – годовой номинальный фонд времени ($F_г$ = 2020 час. при односменной работе и $F_г$ = 4040 час. при двухсменной работе.);

P – количество параллельных потоков АЛ;

$\eta_э$ = 0,95 – эксплуатационный коэффициент, численно равный доле времени пребывания линии в состоянии эксплуатации.

При определении величины требуемой производительности для каждого станка линии необходимо учитывать потери времени, связанные с выпуском бракованной продукции. Для этого используются данные статистических исследований точности отдельных технологических операций с целью получения необходимых коэффициентов выхода годных изделий.

Требуемая производительность проектируемой АЛ с учетом коэффициентов выхода годных изделий применительно к первому станку линии (ее началу) определяется по формуле:

$$Q_{тр.нач.} = Q_{тр.} / \prod_{i=1}^{n} \eta_i \qquad (1.16)$$

где $Q_{тр.нач.}$ – сменная производительность первого станка в технологическом потоке;

$\prod_{i=1}^{n} \eta_i$ – произведение коэффициентов выхода годных изделий на каждой операции технологического потока.

Примечание: $Q_{тр.нач.}$ можно трактовать как необходимое количество заготовок для обеспечения требуемого сменного выпуска деталей.

1.5 Данные по участку и его структура

Автоматическая линия механической обработки шестерни пятой передачи включает:

- технологическое оборудование (машины и устройства) для механической обработки, мойки, контроля;
- транспортную систему устройств загрузки и выгрузки деталей;
- портальные манипуляторы;
- систему управления линии с пультами.
- габариты автоматической линии:

до термообработки: длина – 54 м; ширина – 10,95 м;

после термообработки: длина – 31,5 м; ширина – 18 м.

Технологическая взаимосвязь и связь техпроцессов в обработке шестерни заключается в доставке рабочих деталей из отделения подготовки до линии отправки готовой детали.

Для рассматриваемой линии применена распределительная система управления. Такая концепция управления взята на основании технологии выработки деталей (каждая операция идет в особой производственной ячейке, которые связаны между собой транспортной системой). Преимущество такой системы управления по отношению к централизованной системе, заключается в самостоятельности работы каждой производственной ячейки.

1.6 Краткое описание структуры автоматической линии

Автоматическая линия предназначена для производства ведомой и ведущей шестерен 5-й передачи коробки передач легкового автомобиля.

Линия состоит из 2-х участков обработки деталей: до термообработки и после термообработки, которые расположены раздельно друг от друга. Термообработка осуществляется вне механосборочного цеха – в термическом цехе завода.

«Загрузка – разгрузка» линии заготовками и деталями выполняется вручную из тары на транспортер-накопитель. Перемещение заготовок по операциям от станка к станку производится автоматически при помощи транспортера.

Обработка деталей на линии может осуществляться параллельно – одновременно заготовок шестерен ведомой и ведущей 5-й передачи и раздельно одной из 2-х видов заготовок.

На всех операциях для каждого из 2-х типоразмеров деталей используется свое оборудование. Исключение составляют протяжная, агрегатная и промывочная операции, где используются универсальные станки для одновременной обработки 2-х типоразмеров деталей.

Загрузка – разгрузка заготовок на станках выполняется с помощью загрузочных устройств портального типа, одновременно обслуживающих по два станка с различными типоразмерами деталей.

После прохождения первого участка заготовки вручную загружаются в тару и отправляются электрокарами в термический цех. Термообработанные заготовки транспортируются таким же способом из термического цеха в механосборочный и поступают в таре на второй участок механической обработки «каленых» шестерен. На этом участке осуществляются операции финишной обработки и контроля.

1.7 Показатели надежности работы оборудования автоматической линии

Выполнение этапа сводится к определению параметров безотказности АЛ. При этом возможно выполнение расчетов, как по оборудованию, так и по инструменту. Составляется ведомость оборудования с характеристиками его надежности таблица 1.1 (используем данные литературных источников [2, 4, 7])

Таблица 1.1

№№ опер	Наименование оборудования	Параметры надежности	
		$\lambda \cdot 10^{-3}$ [1/цикл]	$B \cdot 10^{-3}$ [мин/цикл]
10 20.1 20.2 40 80 90 100 110	Центровально-подрезной станок Токарный станок Токарный станок Холодно-накатной станок Круглошлифовальный станок Токарный станок 8-ми позиционный агрегатный станок Круглошлифовальный станок		
	Итого по циклически действующему оборудованию		

Таблица 1.2

Непрерывно действующие узлы АЛ		Параметры надежности	
		$\lambda \cdot 10^{-3}$ [1/цикл]	$B \cdot 10^{-3}$ [мин/цикл]
Электрооборудование из 10 станков	-		
Гидрооборудование АЛ из 10 станков (без насосных установок)	-		
Возвратный транспортер	1		
Итого			

Интенсивность отказов оборудования определяется соотношением

$$\lambda_{об} = \sum \lambda_i / T_ц + \sum \lambda_j \qquad (1.17)$$

Таблица 1.3

Наименование узла Циклически действующие узлы	Кол-во узлов	Значение показателей надежности			
		Одного узла		Группы узлов	
	n_i	$\lambda_i 10^{-3}$ 1/ цикл	$B_i 10^{-3}$ мин/ цикл	$n_i\lambda_i \cdot 10^{-3}$ 1/цикл	$n_i B_i \cdot 10^{-3}$ мин/ цикл
1	2	3	4	5	6
Силовой или подкатной стол вместе с многошпиндельной коробкой		0,143		0,300	
Силовой или подкатной стол вместе с подрезно-расточной или фрезерной бабкой		…		…	
Приспособление для фиксации и зажима заготовок средней сложности		…		…	
Приспособление для фиксации и зажима заготовок со сложными механизмами или для точной обработки		…		…	
Приспособление для фиксации и зажима приспособлений-спутников (типовое)		…		…	

Привод транспортного устройства с механизмом поворота штанг		…		…	
Приспособление-спутник без зажимного устройства		…		…	
Приспособление-спутник с зажимным устройством		…		…	
Станция зажима или отжима заготовок в приспособлениях-спутниках (механический ключ)		…		…	
Станция автоматической загрузки или разгрузки заготовок		…		…	
Устройства для контроля наличия отверстий в заготовках		…		…	
Быстросъемный патрон с удлинителем для крепления сверл, зенкеров, разверток, метчиков		…		…	
Подрезная головка со скользящей втулкой (пинольная) и с плавающим патроном		…		…	
Борштанга во вращающейся втулке или со скользящей втулкой и с плавающим патроном		…		…	
Станция для поворота заготовок или приспособлений-спутников, кантователь		…		…	
Электрооборудование линии из10 станков		…		…	
Гидрооборудование линии из 10 станков (без насосных установок)		…		…	
Возвратный транспортер		…		…	
Моечная станция		…		…	

Таблица1.4

Наименование узла Непрерывно действующие узлы	Кол-во узлов	Значение показателей надежности			
		Одного узла		Группы узлов	
	n_j	$\lambda_j 10^{-3}$ 1/ цикл	$B_j 10^{-3}$ мин/ цикл	$n_j\lambda_j 10^{-3}$ 1/ цикл	$n_j B_j \cdot 10^{-3}$ мин/ цикл
Система охлаждения режущего инструмента без резервной насосной установки		…		…	
Система охлаждения режущего инструмента при наличии резервной насосной установки		…		…	
Насосная установка гидростанции		…		…	

Длительность ежемесячных профилактических работ $\tau''_{пл}$

Таблица 1.5

Работы по ежемесячному техническому обслуживанию	Затраты времени по техническому обслуживанию на 100 мин. Работы, в зависимости от сложности линии (в мин.)		
Осмотр в начале смены	…	…	…
Осмотр после обеденного перерыва	…	…	…
Уборка в конце смены			
Тип АЛ	простые	средней сложности	сложные
Итого на все виды работ	…	…	…

Значения потерь времени по различным организационным причинам приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Организационные причины	Средние потери времени $B_{орг.}$ на 100 мин. работы		
	Уровни организации		
	высокий	средний	низкий
Отсутствие заготовок	…	…	…
Отсутствие обслуживающего персонала	…	…	…
Отсутствие инструментов	…	…	…
Отсутствие запчастей	…	…	…
Отсутствие энергии	…	…	…
Итоги потерь в смену	…	…	…

2 Исследование надёжности работы автоматической линии

2.1 Основные понятия и определения

Надёжность есть свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значение установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания и ремонта. Каждый объект можно рассматривать как систему, состоящую из отдельных элементов.

Автооператоры являются элементами станков – автоматов и в свою очередь могут рассматриваться как совокупность элементов более высокого порядка (питатели, отсекатели, выталкиватели, отводящие устройства и т.д.).

Надёжность – понятие комплексное и характеризуется следующими показателями: безотказностью, ремонтопригодностью и долговечностью.

Безотказность - это свойство объекта сохранять работоспособность в течение определенного промежутка времени. Количественно оценивается вероятностью безотказной работы, интенсивностью отказов или наработкой на отказ.

Важнейшим показателем безотказности является вероятность того, что объект сохранит работоспособность в течение регламентированного промежутка времени. Зависимость вероятности безотказной работы от проработанного времени является функцией надежности и может быть представлена следующей зависимостью

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \qquad (2.1)$$

где λ – параметр, характеризующий поток отказов, который численно представляет вероятность возникновения отказов в единицу времени при

условии, что до этого отказ не произошёл. При постоянной величине λ среднее значение безотказной работы элемента или средняя наработка на отказ определяется зависимостью

$$T_o = 1/\lambda \qquad (2.2)$$

Для элементов циклического действия, где оценка безотказности по календарному времени работы не совсем удобна, так как не учитывается интенсивность работы механизма, т.е. количество рабочих циклов и обрабатываемых деталей, можно ввести дополнительный показатель надёжности $К_Н$ (цикловая наработка на отказ) которой показывает среднее количество циклов (срабатываний) механизма между отказами в работе

$$К_ц = T_o / T_ц , \qquad (2.3)$$

где $T_ц$ – длительность рабочего цикла механизма в мин.

Ремонтопригодность – это свойство объекта, заключающиеся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путём проведения ремонтов и технического обслуживания.

Ремонтопригодность транспортно-загрузочных систем станков и автоматических линий в процессе их эксплуатации оценивается длительностью единичных простоев станков и автоматических линий для обнаружения, устранения и предупреждение отказов. Простои, связанные с обнаружением и устранением отказов, носят случайный нерегламентированный характер как по длительности, так и по времени возникновения и могут быть оценены средним временем единичного простоя Тв для обнаружения и устранения случайных отказов.

Среднее время восстановления работоспособности (среднее время единичного простоя для обнаружения и устранения отказов) определяется по результатам статистических данных (фактических наблюдений) по формуле:

$$T_B = 1/n \sum_{1}^{n} \tau_i \,, \qquad (2.4)$$

где τ_i – длительность í-го простоя из-за отказа какого-либо элемента;

n – общее число отказов за период наблюдения.

Долговечность – это свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Количественно долговечность оценивается средним сроком службы между ремонтами. Степень эффективности использования $К_{Т.И.}$, который зависит от сложности механизма и надёжности его отдельных элементов

$$К_{Т.И.} = 1/ (1+B_o), \qquad (2.5)$$

где $B_o = \Sigma t_o / T_{Ц.}$ – длительность простоев, отнесённая к единице времени безотказной работы;

Σt_o – длительность простоев, приходящихся на единицу продукции (детали).

В качестве примера рассмотрена методика расчёта надёжности работы автооператора.

2.2 Назначение, конструкция и работа загрузочного устройства

Автооператор предназначен для загрузки заготовок цилиндрических зубчатых колёс диаметром 100 … 150 мм. на зубопротяжной станок мод. КСЗ-2 и снятия их после обработки.

Конструкция автооператора рисунок 2.1 состоит из следующих основных узлов: питателя, штыревого магазина – накопителя барабанного типа, механизмов подачи и сброса детали, отводящего лотка.

Питатель 1 автооператора имеет три степени свободы: вращательные движения вокруг двух координат осей и одного возвратно-поступательного движения. Вращательные движения питатель получает от гидроцилиндров, которые перемещают рейки 3 и 4, расположенные в корпусе 5. Поршень – рейка 4 поворачивает питатель 1 вокруг оси ОХ. Этими двумя движениями питатель переводится из загрузочной позиции (нижнее положение) в рабочую (верхнее положение) и наоборот.

Питатель 1 выполнен в виде цилиндра со штоком. В корпусе штока находится захват 6, который берёт деталь из магазина и устанавливает её в зажимное приспособление станка. С целью предотвращения поломки захват 6 питателя подпружинен. От спадания заготовки во время её транспортировки от магазина – накопителя к зажимному устройству станка заготовка удерживается с помощью, фиксаторов, выполненных в виде подпружиненных шариков 16

Штыревой магазин – накопитель имеет вертикальную компоновку: на диске 7 магазина расположены 17 штырей 8, на которые надеваются заготовки и хранятся готовые детали. После обработки всех заготовок, установленных на одном штыре, диск 7 магазина поворачивается на один шаг с помощью гидроцилиндра 9, который, перемещая по байонетному пазу упор, поворачивает диск и фиксирует его в заданном положении. На 17 штырях находится по 15 заготовок, один штырь оставляют свободным для приема нарезанных зубчатых колес.

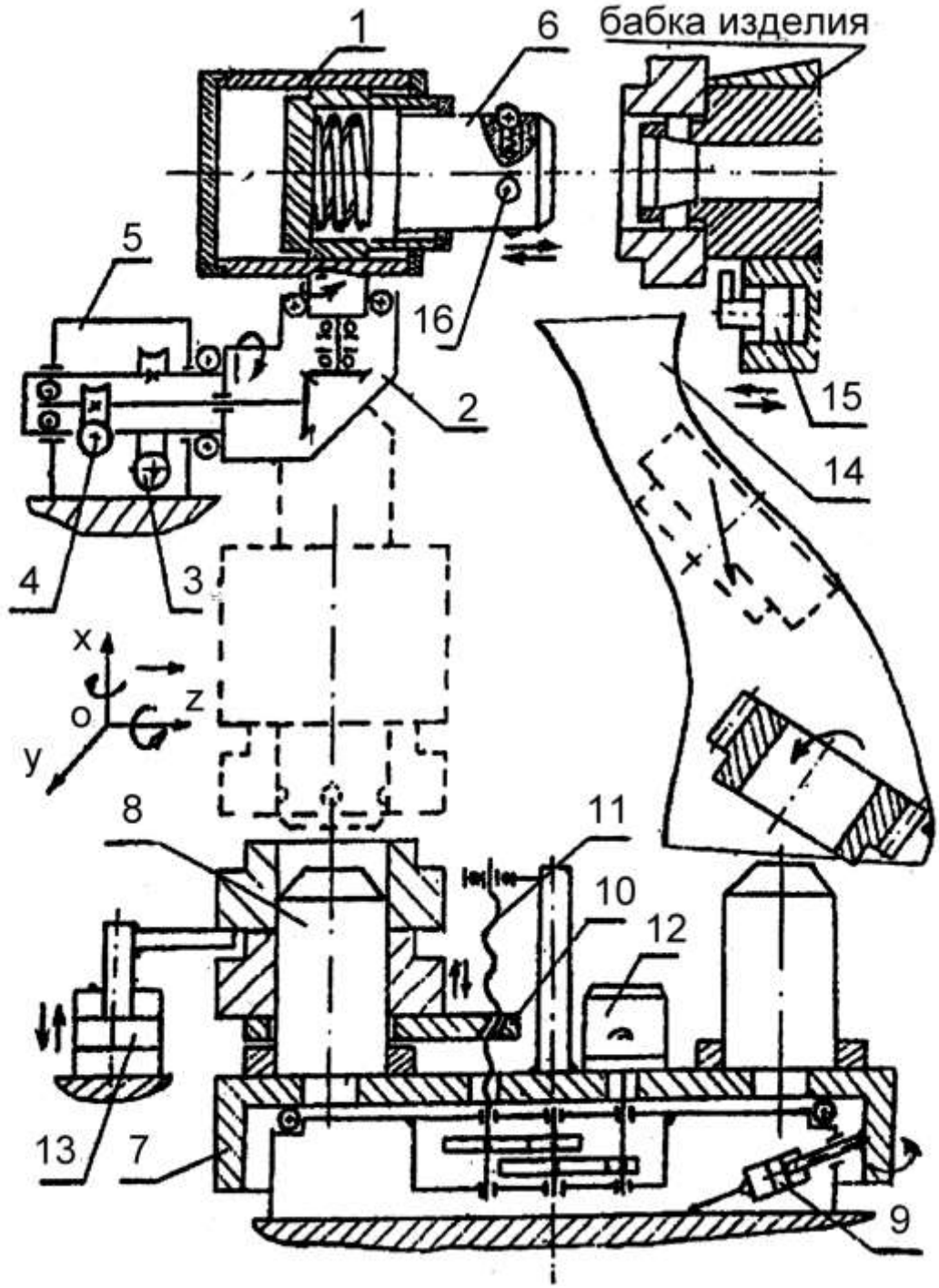


Рис. 2.1. Конструкция и схема работы автооператора

Подача заготовок в зону их приема питателем осуществляется вилкой 10, которая перемещается посредством винта 11 от электродвигателя 12. Поданная из магазина заготовка надевается на захват питателя с помощью гидроцилиндра 13. Для отвода обработанных деталей служит отводящий лоток 14, который спрофилирован таким образом, что при движении по

нему, деталь изменяет свое положение в пространстве и, поворачиваясь на 90°, надевается на штырь.

Управление работой механизмов автооператора осуществляется с помощью бесконтактных и контактных переключателей.

При подаче бабки изделия в рабочее положение, питатель устанавливает захват в положение загрузки и цилиндр 13 надевает очередную заготовку на захват. После этого питатель с заготовкой переходит в верхнее положение и останавливается соосно со шпинделем бабки изделия.

По окончании обработки (нарезание заданного числа зубьев) бабка изделия отводится в исходное положение. Деталь разжимается и отбрасывается цилиндром сброса 15 в лоток, по которому она движется, изменяет ориентацию и надевается на штырь для обработанных деталей.

В это время захват питателя подает в зажимное приспособление станка очередную заготовку. Заготовка зажимается, питатель уходит в исходное положение, и бабка изделия подает заготовку в рабочую зону.

После того как все заготовки с одного штыря будут обработаны, диск магазина поворачивается на 20° и начинается обработка деталей со следующего штыря.

2.3 Расчет показателей надежности автооператора

Исследование надежности включает наблюдение и хронометраж, обработку и расчет параметров надежности. Поэтому расчет показателей надежности работы автооператора проводится в следующей последовательности.

2.3.1. Наблюдение и хронометраж

В период наблюдения фиксируются все элементы затрат планового времени работы автооператора: время безотказной работы, возникновение, длительность и характеристика отказов.

Наблюдения проводятся в течение 18 … 24 рабочих смен. В данной работе ввиду ограниченности времени, наблюдения проводятся в течение 1 ... 1,5 часа.

Результаты наблюдений заносятся в протокол наблюдений, таблица 2.1

Таблица 2.1

Протокол наблюдения за работой автооператора

Длительность безотказной работы		Длительность простоев (отказов)	Причина простоя	Примечания
мин	цикл	мин		

Время безотказной работы между двумя отказами в циклах определяется делением общего времени безотказной работы на длительность рабочего цикла станка. Время работы и простоев фиксируется с помощью секундомера.

2.3.2 Определение параметра потоков отказов

По результатам таблицы 2.1 производится систематизация данных безотказной работы автооператора и их группирование по интервалам, таблица 2.2

На основании таблицы 2.2 рассчитывается среднее количество рабочих циклов между двумя отказами $К_Н$ и параметр потоков отказов λ.

Таблица 2.2

№ п/п	Интервал	Середина интервала	Частота m_i	$m_t t_i$
			Σ =	Σ =

Среднее количество рабочих циклов между двумя отказами рассчитывают, используя следующее выражение:

$$K_H = (\sum_{i=1}^{n} m_i\, t_i)/N, \quad (2.6)$$

где n- количество интервалов;

m_i – частота (количество) случаев, попавших в данный интервал;

t_i - середина интервала;

N - общее количество зафиксированных отказов.

Параметры потока отказов в циклах $\lambda_Ц$ определяется согласно выражению

$$\lambda_Ц = 1/ K_Н \quad (2.7)$$

Для перевода показателей безотказности в единицы времени используют следующие зависимости

$$Т = K_Н \cdot Т_Ц \text{ (мин.)} \quad (2.8)$$

$$\lambda = 1/ T_o \text{ (1/мин.)} \quad (2.9)$$

2.4 Построение функции надежности, проверка полученных результатов

Экспериментальную функцию надежности строят по данным таблицы 2.2 с использованием зависимости

$$\bar{P}(t) = 1 - (\sum_{1}^{n} m_i / N) \qquad (2.10)$$

Рассчитав значения $\bar{P}(t)$ для всех интервалов и соединив середины их величин ломаной линией, получают эмпирическую кривую распределения надежности. Теоретическую кривую функции надежности строят по формуле (2.1) с использованием выражения (2.7), тогда:

$$P(t) = e^{-t/K_н} \qquad (2.11)$$

Значение показательной функции $P(t) = e^{-X}$ приведены в таблице 8 приложения. Откладывая по вертикали на серединах соответствующих интервалов значения $P(t)$ и соединяя их плавной кривой, получим теоретическую кривую надежности работы автооператора.

Для проверки соответствия экспериментальной и теоретической функций надежности используют критерий X^2 Пирсона. Все данные для удобства расчетов сводятся в таблицу 2.3.

В таблицу 2.3 заносят границы интервала, значения теоретической и экспериментальной функций надежности. Для удобства расчетов значения обеих функций выражают в процентах.

В графу *2* заносят значения статистических функций надежности $\bar{P}(t)$, в графу 3 - теоретические значения $P(t)$.

В графу 4 заносят значения абсолютной разности экспериментальной и теоретической функций надежности для каждого из интервалов, в графу 5 - квадрат этой разности.

В графу 6 заносят для каждого интервала значение квадрата разности, деленное на теоретическое значение.

Суммируя данные графы по всем интервалам, получают суммарную меру расхождения X^2.

При использовании таблицы 7 приложения определяют число степеней свободы r, которое равно числу интервалов n минус число наложенных связей S:

$$r = n - S \qquad (2.12)$$

В настоящей работе значение S определяется как число параметров теоретического закона, описывающего надежность, плюс 1.

Таблица 2.3

Граница интервала	Значения функции надежности В %		$(\overline{P} - P)$	$(\overline{P} - P)^2$	$(\overline{P} - P)^2/P$
	экспериментальной	теоретической			
1	2	3	4	5	6

Поскольку экспоненциальный закон является однопараметрическим, (параметр λ), то число степеней свободы определяют как $r = n - 1 - 1$

Зная суммарную величину расхождения X^2 и число степеней свободы, по таблице 2 приложения находим вероятность *P* соответствия экспериментального распределения принятому экспоненциальному закону.

2.5 Расчет средней длительности единичных простоев для обнаружения и устранения отказов

Расчет производится в той же последовательности и по той же методике, что и для характеристики безотказности работы автооператора.. Средняя длительность единичного простоя определяется по формуле

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \tau_i}{N}, \quad (2.13)$$

где n - количество интервалов;

m_i - частота случаев, попавших в данный интервал (может быть выражена в абсолютных единицах и в относительных, например, в процентах);

τ_i - середина i -го интервала;

N - общее количество случаев.

2.6 Определение коэффициента технического использования автооператора

Внецикловые потери, затраты времени на ремонт и регулировку узлов автооператора, отнесенные к единице продукции

$$t_0 = \lambda_Ц \cdot T_в = T_в / K_н \text{ (мин/шт)} \quad (2.14)$$

Длительность простоев, отнесенная к единице времени безотказной работы

$$B_0 = t_0 / T_ц = T_в / T_о \quad (2.15)$$

Коэффициент технического использования автооператора

$$К_{ТИ} = 1/(1+B_0) \quad (2.16)$$

2.7 Данные к расчету показателей надежности автооператора к зуборезному станку

В качестве примера рассматривали один из этапов исследования надежности автооператора к станку, аналогичному КСЗ-2. При исследовании нарезали зубчатые колеса Z = 25, m=4,25 мм, цикл обработки 100 сек, наблюдения проводили в течение 8 часов.

Результаты исследования надежности работы автооператора

Первый период наблюдений

Количество случаев безотказной работы автооператора в циклах:

3; 10; 1; 6; 6; 1; 3; 1; 3; 6; 2; 5; 6; 7; 2; 6; 1; 1; 2; 7; 3; 2; 1; 2; 7; 6; 6; 14; 6; 7; 3; 17; 12; 2; 6; 4; 1; 3; 12; 8; 17; 1; 3; 6; 6; 4; 2; 5; 5; 4.

Время простоев автооператора в мин:

0,05; 0,16; 8; 3,5; 0,08; 2; 1,5; 2,5; 4,5; 0,08; 0,38; 3,5; 0,05; 0,75; 0,5; 0,08; 0,05; 0,05; 0,08; 0,08; 0,66; 25; 0,08; 10; 0,08; 0,05; 0,08; 0,5; 0,5; 0,05; 0,5; 1,5; 0,08; 0,33; 0,05; 0,08; 2,5; 1,5; 2; 0,08; 0,08; 3; 1; 10; 0,16; 0,03; 0,05; 0,75; 1,5; 1,75; 2.

Второй период наблюдений

Количество случаев безотказной работы автооператора в циклах:

7; 1; 2; 12; 6; 3; 15; 6; 1; 6; 3; 2; 8; 4; 1; 3; 6; 2; 4; 1; 10; 3; 6; 20; 5; 3; 12; 3; 6; 1; 17; 7; 2; 6; 3; 16; 1; 3; 7; 2; 2; 4; 12; 7; 1; 6; 17; 6.

Время простоев автооператора в мин:

0,66; 2,5; 0,5; 0,16; 0,41; 1,33; 8; 0,16; 0,5; 0,16; 2; 0,5; 0,16; 0,66; 0,5; 0,16; 0,5; 1,5; 0,5; 10; 0,5; 4,5; 3,5; 0,75; 0,5; 0,83; 2,5; 2; 0,75; 0,5; 0,75; 0,66; 0,41; 0,16; 0,33; 0,5; 0,42; 0,5; 0,66; 0,5; 1,5; 10; 5; 0,5; 0,75; 1,5; 0,16; 10; 0,5; 1,7.

Третий период наблюдений

Количество случаев безотказной работы автооператора в циклах:

20; 3; 12; 6; 1; 2; 6**;** 3; 6; 7; 3; 6; 1; 5; 3; 7; 2; 8; 1; 5; 2; 6; 4; 1; 7; 22; 17; 1; 2; 6; 16; 6; 17; 2; 1; 6; 3; 22; 6; 3; 6; 1; 15; 4; 10; 2; 6; 1; 12; 7.

Время простоев автооператора в мин:

0,66; 0,16; 2; 1,5; 0,5 0,75; 8; 1,5; 0,16; 0,5; 10; 0,16; 0,75; 0,66; 0,75; 0,16; 3; 1; 2; 1,5; 0,5; 1,3; 1; 0,5; 0,75; 3,5; 10; 1,5; 0,66; 0,5; 0,5; 1; 0,75; 2; 1,5; 1; 2,5; 1; 2; 0,75; 0,83; 2,5; 4,5; 0,5; 1; 2; 0,5; 0,75; 0,5 0,33.

3. Расчет и проектирование автоматизированных загрузочных устройств

Автоматизация загрузочных и транспортных операций станков и автоматических линий предусматривает решение задач по выбору и обоснованию устройств и механизмов, охватывающих автоматизацию одну или нескольких операций механической обработки или сборки. В качестве возможных объектов проектирования выбирают устройства, механизирующие или автоматизирующие загрузку, перемещение, установку заготовок и снятие готовых изделий. Выбираемые или разрабатываемые конструкции должны отвечать требованиям максимального сокращения времени на выполнение операции, облегчение или замены ручного труда.

Выбор средств автоматизации технологических процессов, а также обоснование необходимости их использования следует производить на основе технико-экономических сравнений вариантов оснащения технологических процессов средствами механизации и автоматизации; с учетом техники безопасности.

Для проектируемых механизмов приводят основные элементы конструкции, дают описание работы, рассчитывают параметры и режимы (скорость перемещения заготовок, точность позиционирования, усилие зажима развиваемое схватом питателя).

Для определения времени рабочего цикла автооператора или робота строится циклограмма их работы.

3.1 Конструкция и работа загрузочного устройства

В качестве примера рассматривается возможность автоматизации загрузки токарного станка на операции окончательной обработки ступенчатого вала. Масса заготовки 6 кг., время обработки $T_0 = 0{,}5$ мин.

Для загрузки используется автооператор портального типа с двумя питателями расположенными на одной каретке.

Общий вид автооператора с зоной обслуживания представлен на рисунке 3.1. Над станком *1* расположена балка (портал) 2 по которой перемещается каретка 3 с питателями 4 и 5. Один из питателей предназначен для загрузки заготовки, а другой для снятия обработанной детали со станка. Удержание детали (заготовки) при перемещении осуществляется с помощью захватных устройств (схватов) 6.

Во время обработки детали 7 каретка 3 находится над рабочей зоной станка. При этом в захватном устройстве 6 питателя 5 находится заготовка 8. После окончания обработки питатель 4 перемещается вниз, его захватное устройство берет обработанную деталь, патрон 9 разжимается, освобождая последнюю.

Питатель 4 с деталью перемещается вверх, а питатель 5 опускается вниз и устанавливает заготовку соосно с центрами станка, заготовка зажимается в патроне, захват 6 питателя разжимается и питатель 5 поднимается вверх. Начинается обработка заготовки. Каретка 3 перемещается к транспортеру 10 и останавливается над ним. Питатель 4 опускается, кладет деталь на палету 11 и поднимается вверх. Транспортер перемещает паллету, питатель 5 опускается, берет новую заготовку и поднимается вверх. Каретка 3 снова перемещается к рабочей зоне станка и останавливается в исходном положении. По окончании обработки детали цикл работы автооператора повторяется.

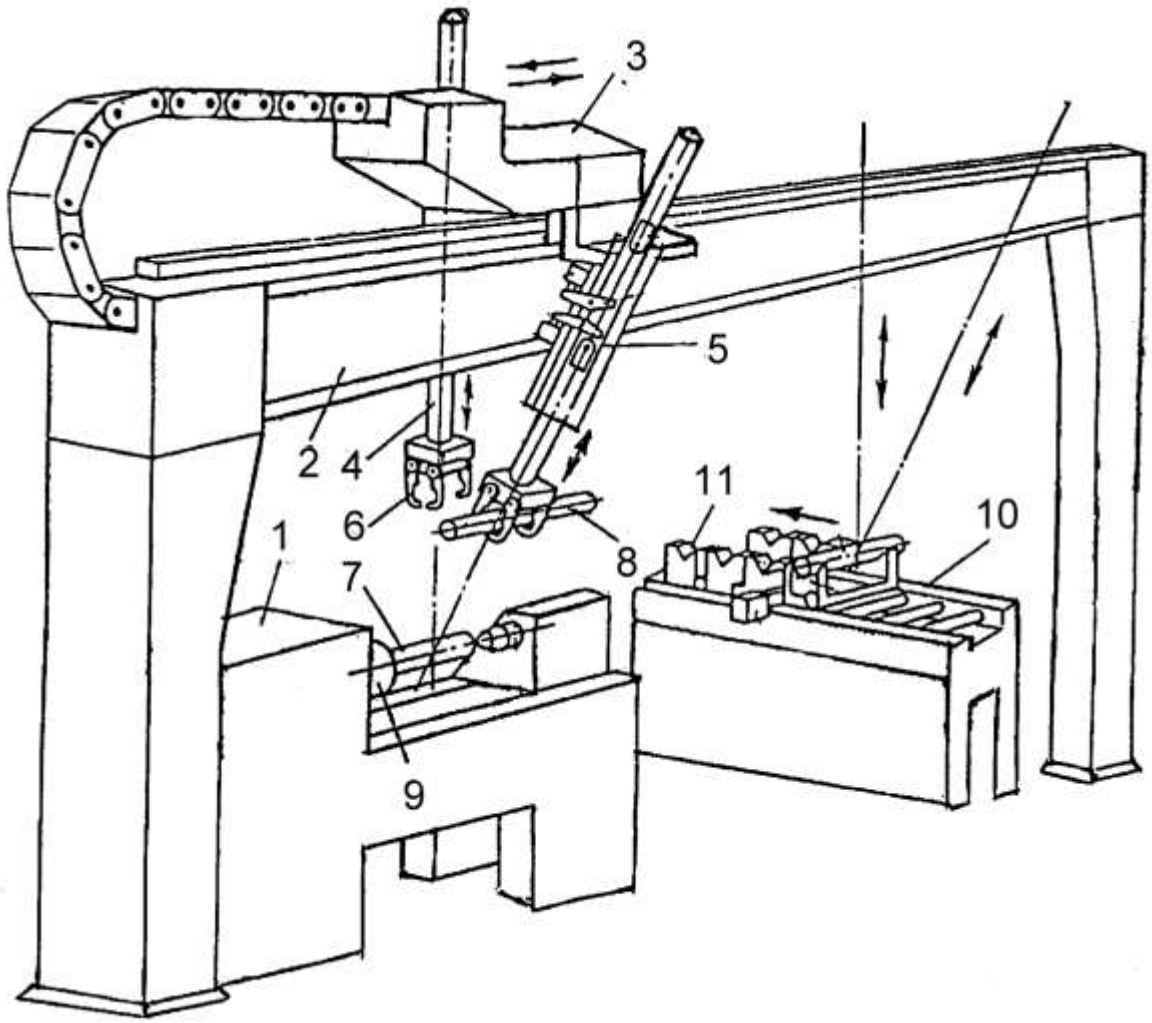


Рис. 3.1. Общий вид автооператора с зоной обслуживания

3.2 Расчет элементов цикла работы автооператора и построение циклограммы

Для определения времени работы автооператора строится циклограмма отдельных элементов цикла совместной работы автооператора, станка и транспортера (рис. 3.1). Длительность цикла работы автооператора $T_{ц.а.}$ складывается из затрат времени на несовмещённые элементы цикла работы устройства $T_{н.а.}$, используемых на загрузочных операциях, и затрат

времени на совмещенные элементы цикла работы устройства $T_{с.а.}$ используемых на транспортных операциях. На основании циклограммы, представленной на рисунке 3.2, затраты времени с учетом отдельных элементов будут складываться следующим образом:

$$T_{н.а} = t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_{11} \quad (2.17)$$

$$T_{с.а} = t_{13} + t_{14} + t_{15} + \ldots + t_{21} \quad (2.18)$$

Отсюда

$$T_{ц.а.} = T_{н.а} + T_{с.а} \quad (2.19)$$

Во избежание простоев станка необходимо чтобы

$$T_{с.а} \leq T_0, \quad (2.20)$$

где $T_о$ - время обработки детали на станке.

Для уменьшения затрат времени на несовмещенные хода, влияющие на производительность, необходимо повышать скорости перемещения движущихся частей автооператора.

Время отдельных элементов цикла можно рассчитать пользуясь усредненными данными:

- включение и выключение станка 0,3,..0,5 сек.;

- закрепление и раскрепление детали 0,3...0,5 сек.

Время перемещения каретки или питателей зависит от скорости и пути перемещения их в зоне обслуживания станка:

- скорость перемещения каретки $V_к$ = 0,5...1,0 м/сек;

- скорость перемещения питателя $V_п$ =0,5 м/сек.

Время затрачиваемое на перемещение заготовки по транспортеру зависит от скорости транспортера и величины шага перемещения заготовки. Скорость перемещения транспортера с палетами $V_{тр.}$ = 8 ..10 м/мин.

Для упрощения расчетов принимаем время элементов цикла работы автооператора следующими:

$$t_1 = t_3 = t_4 = t_9 = t_{10} = t_{15} = t_{19} = 0{,}5 \text{ сек}$$

Величина вертикального перемещения питателей принята равной 1000 мм; скорость перемещения питателей вверх и вниз -- 0,5м/сек

Тогда: $t_2 = t_6 = t_7 = t_{11} = t_{14} = t_{16} = t_{18} = t_{20} = 1$сек

Величина перемещения каретки с питателями от станка к транспортеру и обратно принята 2500 мм. Скорость перемещения каретки $V_к = 0,8$ м/с ек.

Тогда время отвода и подвода $t_{13} = t_{21} = 3$ сек.

Время ввода-вывода детали из патрона и в патрон. $t_5 = t_8 = 0,5$ сек.

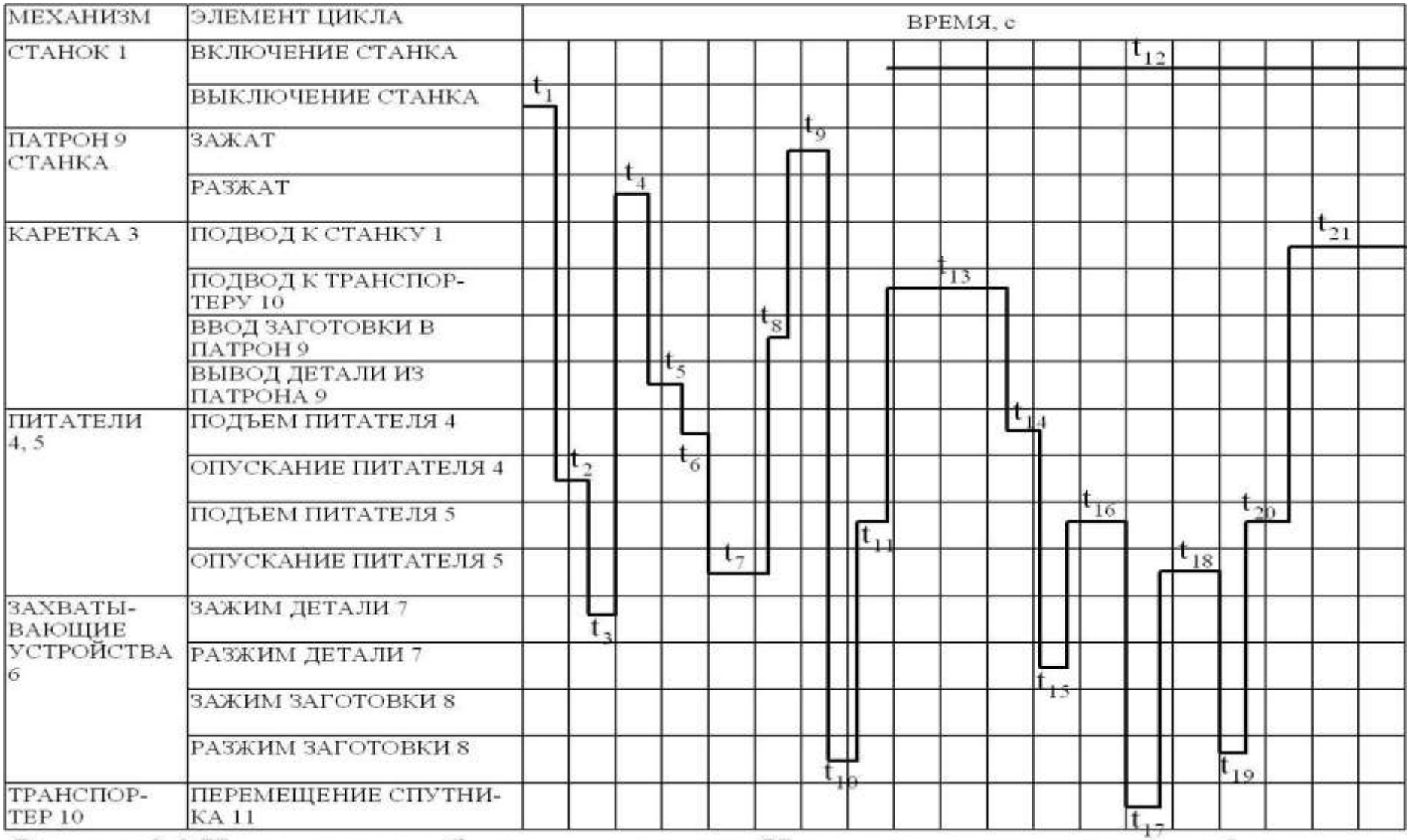


Рисунок 3.2 Циклограмма работы автооператора.(Исходное положение: каретка 3 находится над станком 1, питатель 4 разгружен, питатель 5 загружен заготовкой.)

Для определения времени перемещения палеты с заготовкой, принимаем скорость движения транспортера $V_{тр}$ = 10 м/мин, шаг перемещения транспортера 200 мм, откуда t_5 = 1сек.

С учетом найденных элементов цикла определяли время на не совмещенные и совмещенные движения автооператора.

$$Тн.а = 0,5+1,0+0,5+0,5+0,5+1,0+1,0+0,5+0,5+0,5+1,0 = 7,5 \text{ сек.}$$

$$Тс.а = 3,0+1,0+0,5+1,0+1,0+1,0+0,5+1,0+3,0 = 12 \text{ сек.}$$

Как видно из расчетов, условия $Тс.а \leq T_0$ выполняются. т. е. простоев станка по затратам времени на холостые хода не будет. Общее время работы автооператора

$$T_{ц.а} = T_{н.а.} + T_{с.а.} = 7,5+12 = 19,5 \text{ сек.}$$

После определения элементов и общего времени цикла работы автооператора, в выбранном масштабе строится циклограмма (см. рисунок 3.2)

3.3 Конструкция автооператора

В качестве примера на рисунке 3.3. приведена конструкция автооператора с двумя питателями расположенными на одной каретке. Питатели 1 и 2 установлены на каретке 3, которая в свою очередь установлена на портале 4. Питатель 1 служит для удаления обработанной детали из зоны обработки и передачи ее на транспортер за счет перемещения каретки 3 по порталу 4.

Питатель 2 предназначен для загрузки станка заготовками. Привод питателей гидравлический. При подаче масла под давлением в полость «А» в гидроцилиндре 5 перемещаются вниз поршень 6 и упор 7, воздействующий на вал 8, благодаря чему сжимается пружина 9 и захватные устройства (схваты) 10, поворачиваясь на осях 11, раскрываются. Далее

перемещается в нижнее положение шток 12 с раскрытыми захватными устройствами. При этом полость «Б» открыта для слива масла. При пуске масла в полость «Б» вначале упор 7 отходит из нее на некоторое расстояние от торца вала 8, пружина 9 разжимается и захватные устройства 10 зажимают деталь (заготовку). Управление перемещениями питателей вниз и вверх происходит посредством путевых переключателей 13 и 14 от кулачков 15 и 18 через рычаги 16 и 17 при упоре гайки 19 в торец «Т».

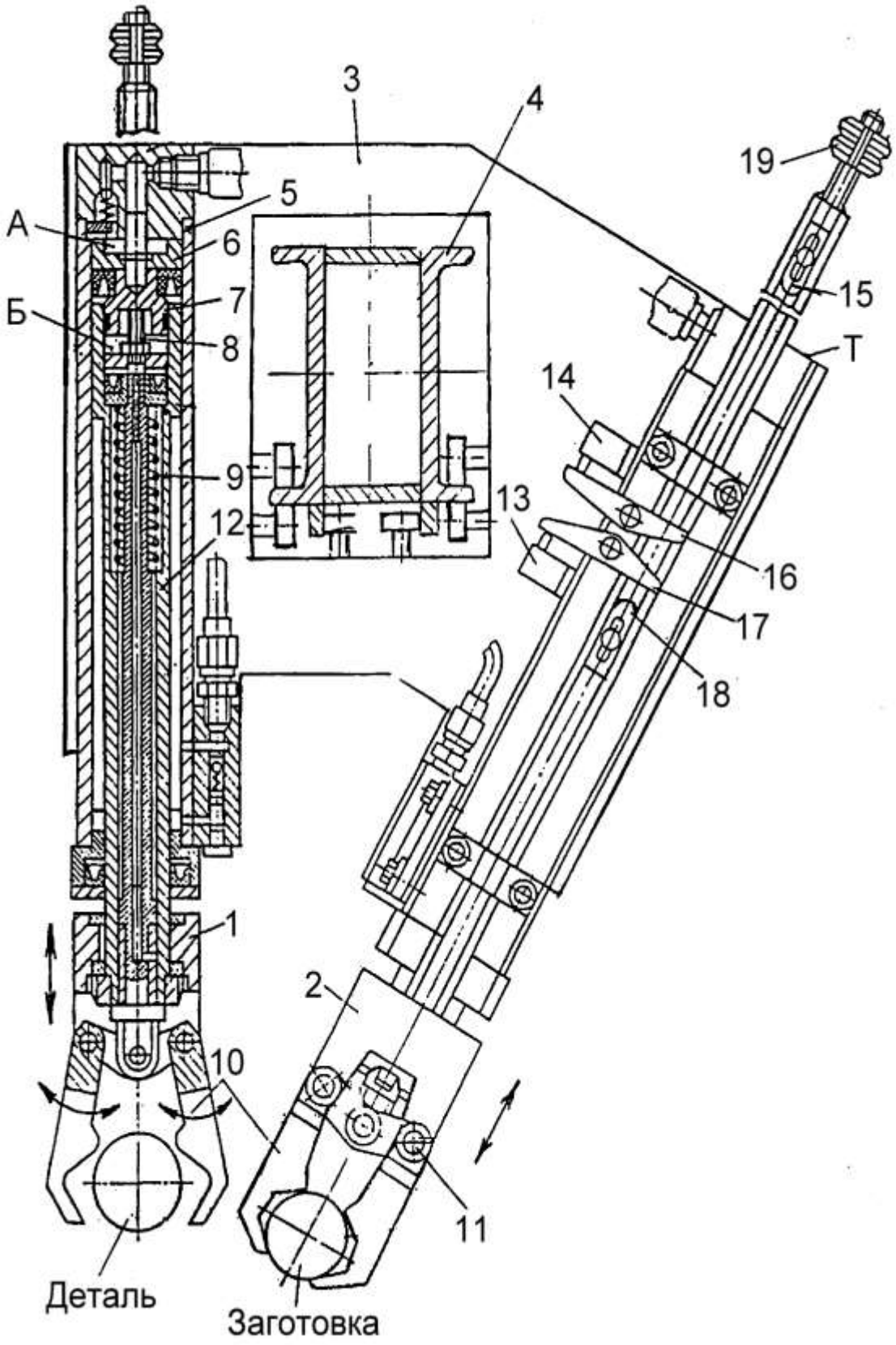


Рис. 3.3. Конструкция автооператора

3.4 Определение усилия захвата для удержания детали (примеры конструкций и расчетов)

Для безопасности работы автооператора необходимо определить усилие зажима детали в схвате, при транспортировке ее от станка и к станку.

При расчете усилия зажима, создаваемого рычагами схватов, представленными на рисунке 3.3, рассмотрим рисунок 3.4.

Расчетная схема представляет собой рычажный механизм с плечами l_1 и l_2. На конце плеча l_1 имеется призма с углом α. Плечо l связано шарнирно с тягой, создающей исходное усилие. Таким образом величина силы зажима Q, будет зависеть от передаточного отношения плеч рычагов l и l_1. Так как скорость горизонтального перемещения каретки автооператора с питателями невелика, то при расчете сил зажима заготовки можно ограничиться учетом только веса заготовки P.

При расчете усилия W будем считать, что углы призмы равны, поэтому равны и силы нормального давления N_1 и N_2. Используя выражение (3.1) определим силы N_1 и N_2

$$N_1 = N_2 = P\ (\sin\alpha/2 - f\cos\alpha/2)\ /(\sin\alpha + 2f\cos\alpha) \qquad (3.1)$$

Усилия зажима, создаваемые рычагами l_1

$$Q = P\ (\sin\alpha/2 - f\cos\alpha/2)\ /(\sin\alpha + 2f\cos\alpha) \cdot \sin\alpha/2 \qquad (3.2)$$

Далее учитывая коэффициент запаса К, соотношение плеч рычагов l и l_1, потери на трение в шарнирах рычагов η_1 и потери в соединении рычагов с тягой η_2, определяем исходное усилие W, необходимое для удержания заготовки (детали) в схвате автооператора:

$$W = 2\cdot P\cdot K\cdot((\sin\alpha/2 - f\cos\alpha/2)\cdot l_1)/(\sin\alpha+2f\cos\alpha)\cdot\sin\alpha/2\cdot\cos\gamma\cdot l\cdot\eta_1\cdot\eta_2) \qquad (3.3)$$

Данные для расчета усилия зажима для схемы представленной на рис. 3.4: Р =5кг.; К =2,5; f = 0,15; l_1=$2l$; γ =10°; η_1= 0,9; η_2= 0,85; α =90°.

Кроме схемы показанной на рис. 3.4 для захвата деталей при транспортировании используются схемы, показанные на рисунках 3.5 и 3.6.

На рисунке 3.5 представлена зубчато-рычажная схема захвата, которая работает следующим образом: исходная сила W воздействует на тягу 1, на которой закреплена двухсторонняя зубчатая рейка 2 находящаяся в зацеплении с зубчатыми секторами рычагов 3. Рейки воздействуя на зубчатые сектора рычагов 3 перемещают губки 4 которые зажимают заготовку или деталь.

Усилие зажима, создаваемое механизмом, определяется следующей зависимостью

$$W = (K \cdot P \cdot l \cdot \cos\gamma \cdot \sin\alpha/2)/f \cdot r \cdot \eta_1 \cdot \eta_2) \qquad (3.4)$$

Данные для расчета усилия зажима заготовки для схемы представленной на рис. 3.5.

Р = 5 кг; К = 2,5; F = 0,15; l = 90 мм; γ = 10°; η_1 = 0,9; η_2 = 0,85; α = 90° r = 20 мм.

На рисунке 3.6 приведена схема клино-рычажного механизма захвата. Исходная сила W воздействует тягу 1 на которой закреплен клин 2 . Клин через ролик 3 воздействует на рычаг 4 на котором находятся устройства захвата в виде призм 5. Под действием сил Q происходит зажим заготовки.

Усилие зажима, развиваемое механизмом:

$$W = K \cdot P \cdot ((\sin\alpha/2 - f\cos\alpha/2) \cdot (tq(\beta+\varphi_{пр})) \cdot l)/(\sin\alpha + 2f\cos\alpha) \cdot \sin\alpha/2 \cdot l_1 \cdot \eta_1) \qquad (3.5)$$

Данные для расчета усилия зажима для схемы рисунок 3.6:

К = 2,5; Р = 10 кг.; $\varphi_{пр}$ = 2°50'; α = 90°; β=10°; f = 0,15; η_1=0,9; l_1 = 2 l.

По найденным величинам исходных сил выбирают параметры приводов.

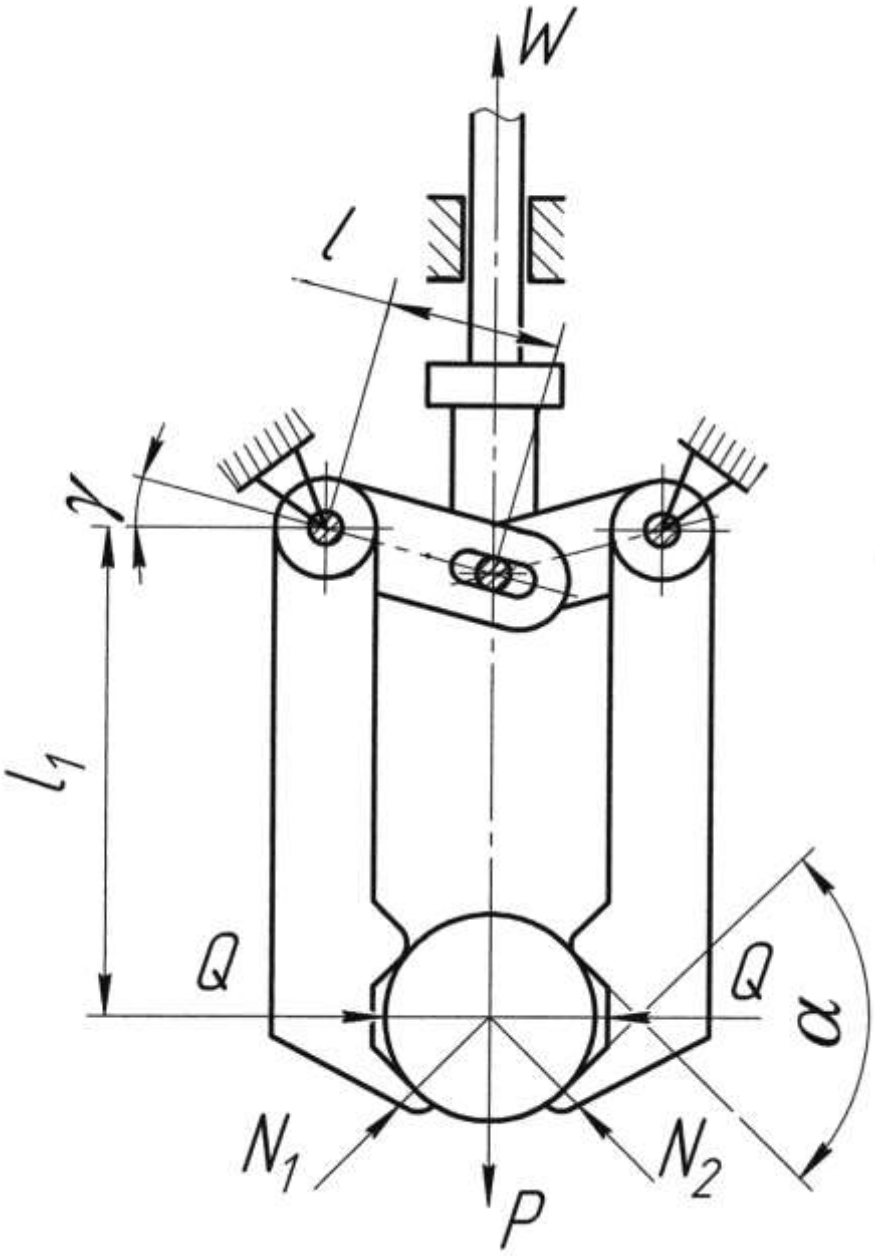


Рис. 3.4 Рычажная схема захвата

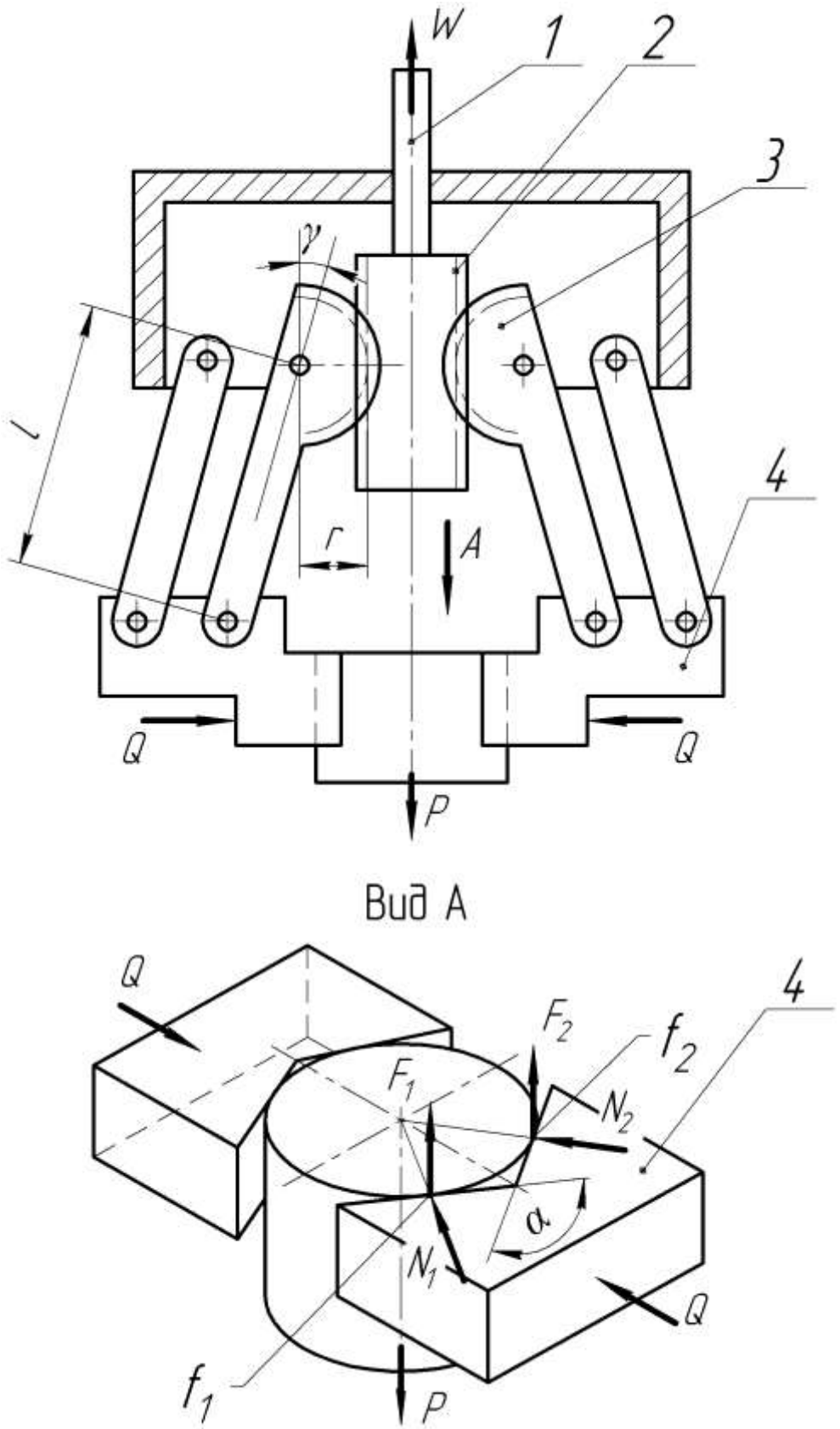


Рис. 3.5. Зубчато-рычажная схема захвата

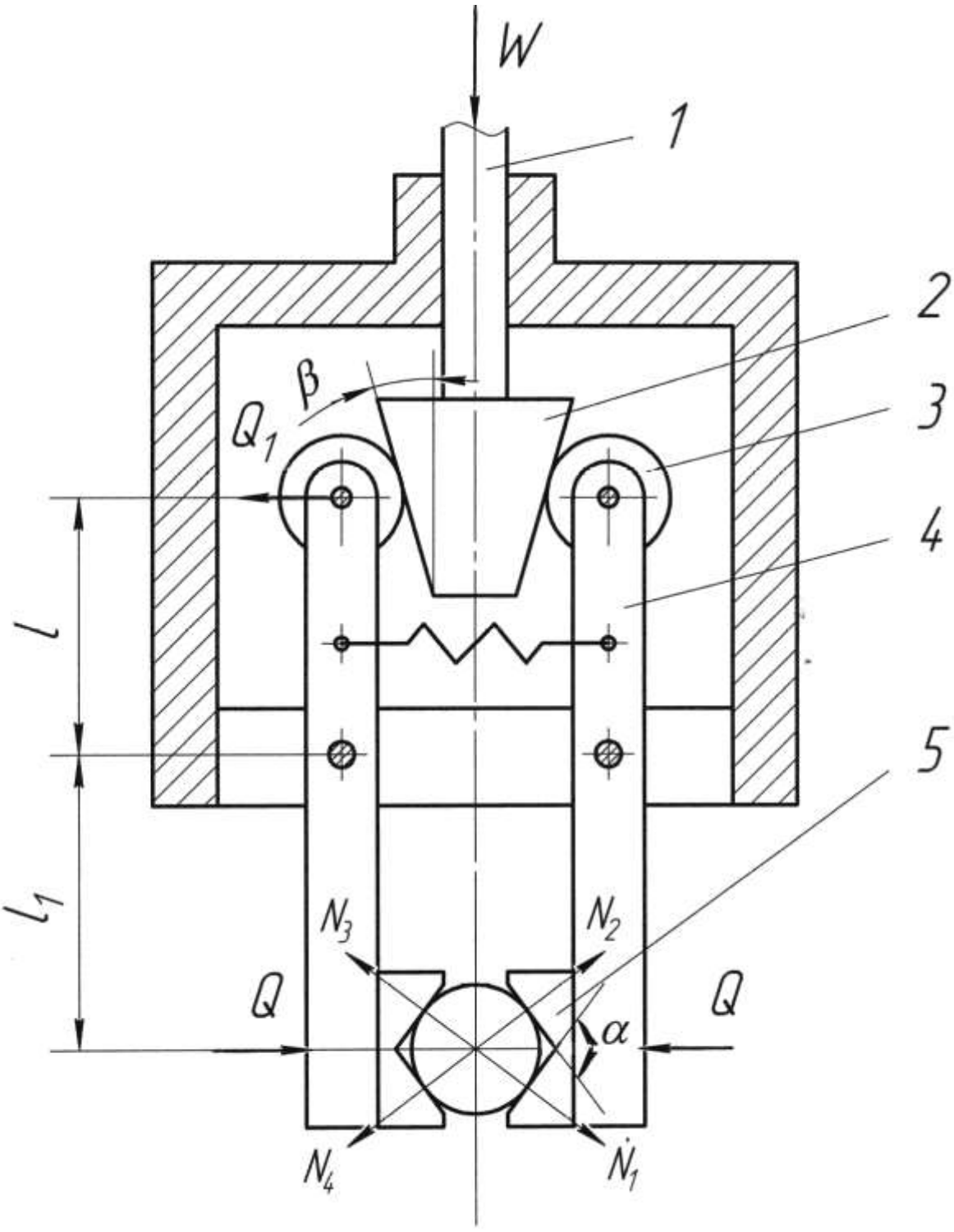


Рис. 3.6 Клино-рычажная схема захвата

3.5 Содержание графической части

Графическая часть курсового проекта включает в себя:

1. Структурную схему автоматической линии (или иной автоматической технологической системы);

2. Компоновку автоматической технологической позиции.

3. Циклограмму работы автоматической позиции

4. Автоматического устройство загрузки, питания, ориентирования, захвата и т.д. (проектирование и расчет)

5. Чертеж детали или сборочного узла изготавливаемого на линии.

Приложение

Определение показателей надежности АЛ

Выполнение этапа сводится к определению параметров безотказности АЛ. При этом возможно выполнение расчетов, как по оборудованию, так и по инструменту. Составляем ведомость оборудования с характеристиками его надежности (используем данные литературных источников 2,4,7)

Таблица 1

№ опер.	Наименование оборудования	Параметры надежности	
		$\lambda \cdot 10^{-3}$ (1/цикл)	$B \cdot 10^{-3}$ (мин/цикл)
10	Центровально-подрезной станок	0,01	0,100
20.1	Токарный станок	0,2	0,800
20.2	Токарный станок	0,2	0,800
40	Холодно-накатной станок	0,100	0,100
80	Круглошлифовальный станок	0,278	2,000
90	Токарный станок	0.20	0,800
100	8-ми позиционный агрегатный станок	$8 \times 0{,}001$	8 x 0,002
110	Круглошлифовальный станок	0,278	2,000
	. Итого по циклически действующему оборудованию	1,274	6,608

Таблица 2

Непрерывно действующие узлы АЛ		Параметры надежности	
		$\lambda \cdot 10^{-3}$ (1/цикл)	**$B \cdot 10^{-3}$мин/цикл**
Электрооборудование АЛ из 10 станков		1,000	7,500
Гидрооборудование АЛ из 10 станков (без насосных установок)		1,200	10,400
Возвратный транспортер		1,100	10,000
Итого		3,300	27,900

$T_Ц = 0,75$

Интенсивность отказов оборудования определяется соотношением:

$$\lambda_{об.} = (\Sigma\lambda_i / T_Ц) + \Sigma\lambda$$

Таблица 3

Циклически действующие узлы	Кол-во узлов	Значение показателей надежности			
		одного узла		группы узлов	
	n_i	$\lambda_i \cdot 10^{-3}$ 1/цикл	$B_i \cdot 10^{-3}$ мин/цикл	$n_i\lambda_i \cdot 10^{-3}$ 1/цикл	$n_iB_i \cdot 10^{-3}$ мин/цикл
1	2	3	4	5	6
Силовой или подкатной стол (вместе с многошпиндельной коробкой)		0,143	0,300		
Силовой или подкатной стол (вместе с подрезно-расточной или фрезерной бабкой.)		0,200	0,800		
Приспособление для фиксации и зажима заготовок средней сложности		0,139	1,000		
Приспособление для фиксации и зажима заготовок со сложными механизмами или для точной обработки.		0,278	2,000		

Приспособление для фиксации и зажима приспособлений спутников (типовое)		0,100	0.500		
Привод транспортного устройства с механизмом поворота штанг		0,588	4,000		
Приспособление спутник без зажимного устройства		0,010	0,100		
Приспособление-спутник с зажимным устройством		0,100	0,500		
Станция зажима или отжима заготовок в-приспособлениях спутниках (механический ключ)		0,286	1,429		
Станция автоматической загрузки или разгрузки заготовок		0,400	2,000		
Кондукторные плиты подвижные		0,010	0,050		
Устройство для контроля наличия отверстий в заготовках		0,200	2,000		
Быстросменный патрон с удлинителем для крепления сверл, зенкеров, разверток, метчиков		0,001	0,002		
Подрезная головка» со скользящей втулкой (пинольная) и с плавающим патроном		0,010	0,10		
Борштанга во вращающейся втулке или со скользящей втулкой и с плавающим патроном		0,040	0,010		
Станция для поворота заготовок или приспособлений-спутников , кантователь		0,100	1,000		
Электрооборудование линии из 10 станков		1,000	7,500		

Гидрооборудование линии из 10 станков (без насосных установок)		2,000	17,400		
Возвратный транспортер		1,667	20,000		
Моечная станция		0,100	1,000		

Таблица 4

Непрерывно действующие узлы	Кол-во узлов	Значение показателей надежности			
		одного узла		одного узла	
	n_j	$\lambda_j \cdot 10^{-3}$ 1/цикл	$B_j \cdot 10^{-3}$ мин/цикл	$n_j\lambda_j \cdot 10^{-3}$ 1/цикл	$n_jB_j \cdot 10^{-3}$ мин/цикл
Система охлаждения режущего инструмента без резервной насосной установки		0,400	0,200		
Система охлаждения режущего инструмента при наличии резервной насосной установки		0,200	0,600		
Насосная установка гидростанции		0,010	0,100		

Таблица 5

Длительность выполнения ежесменных профилактических работ τ" пл

Работы по ежемесячному техническому обслуживанию	Затраты времени по техническому обслуживанию на 100мин. Работы, в зависимости от сложности линии (в мин.)		
Осмотр в начале смены	2,0	2,2	2,5
Осмотр после обеденного перерыва.	0,8	1,0	1,2
Уборка в конце смены	1,5	2,0	2,5
Типы АЛ	Простые	Средней сложности	Сложные
Итого на все виды работ	4,3	5,2	6,2

Таблица 6

Значения потерь по организационным причинам.

Организационные причины	Средние потери времени $B_{ОРГ.}$ На 100 мин. работы		
	Уровни организации		
	Высокий	Средний	Низкий
Отсутствие заготовок	1,0	2,0	3,0
Отсутствие обслуживающего персонала	1,0	5,0	5,0
Отсутствие инструмента	0,5	1,1	1,5
Отсутствие запчастей	0,2	0,5	0,5
Отсутствие энергии	0,1	0,3	0,4
Итого потерь в смену	2,8	8,9	10,7

Таблица 7

Значения X^2 в зависимости от r и p.

r	P							
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10
1	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,71
2	0,103	0211	0,446	0,713	1,385	2,41	3,22	4,60
3	0,352	0,584	1,005	1,424	2,37	3,66	4,64	6,25
4	0,711	1,064	1,649	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78
5	1,145	1,610	2,34	3,000	4,35	6,06	7,29	9,24
6	1,635	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99
11	4,58	5,58	6,99	8,15	10,34	12,90	14,63	17,28
12	5,23	6,30	7,81	9,03	11,34	14,01	15,81	18,55
13	5,89	7,04	8,63	9,93	12,34	15,12	16,98	19,81
14	6,57	7,79	9,47	10,82	13,34	16,22	18,15	21,10

Таблица 8 Значения показательной функции e^{-X}

X .	Остальные доли X.				
	0	2	4	6	8
0,0	1,0000	0,9802	0,9608	0,9418	0,9231
0,1	0,9048	0,8869	0,8694	0,8521	0,8353
0,2	8197	8025	7866	7711	7558
0,3	7408	7261	7118	6977	6839
0,4	6703	6570	6440	6313	6188
0,5	6065	5945	5837	5712	5599
0,6	5488	5379	5273	5169	5066
0,7	4966	4868	4771	4677	4584
0,8	4493	4404	4317	4232	4148
0,9	4066	3985	3906	3829	3753
1.0	3670	3606	3535	3465	3396
1.1	3329	3263	3198	3135	3073
1,2	3012	2952	2894	2837	2779
1.3	2725	2645	2618	2567	2516
1.4	2466	2417	2369	2322	2276
1,5	2231	2187	2144	2101	2060
1,6	2019	1979	1941	1901	1864
1.7	1827	1791	1755	1720	1686
1.8	1653	1620	1588	1557	1526
1.9	1496	1466	1437	1409	1381
2,0	1353	1327	1300	1275	1249
2,1	1225	1200	1177	1153	1130
2,2	1108	1086	1065	1044	1023
2,3	10026	09827	09623	09442	09255
2,4	09072	08892	08716	08543	08374
2,5	00208	08046	07887	07730	07577
2,6	07427	07280	07136	06995	06656
2,7	06721	06587	06457	06329	06421
2,8	06081	05961	05843	05727	05613
2,9	05502	05393	05287	05182	05079
3.0	04979				

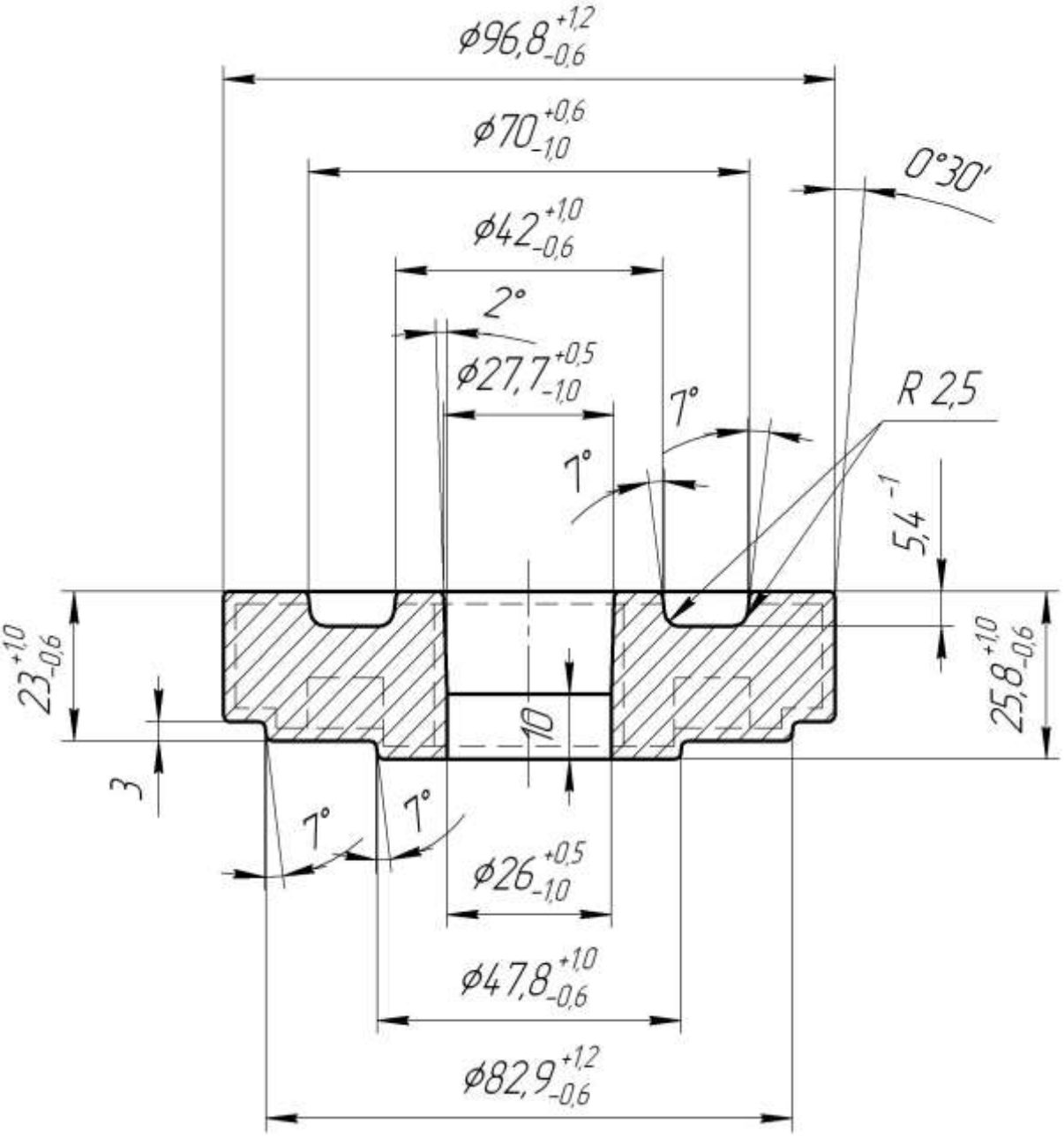


Рис. 3.7. Шестерня ведущая 5-й передачи (заготовка)

1. *Заготовка – штамповка, материал – сталь 20 ХГНМ*
2. *Нитроцементация h - 0,5…0,7 мм, на поверхности зубьев 59..64 HRC$_э$, твердость середины зуба 32..44 HRC$_э$,*
3. *Масса заготовки 1,2 кг*
4. *Штамповочные уклоны от 0^o до 0^o 30\'*
5. *Разностенность не более 1 мм*

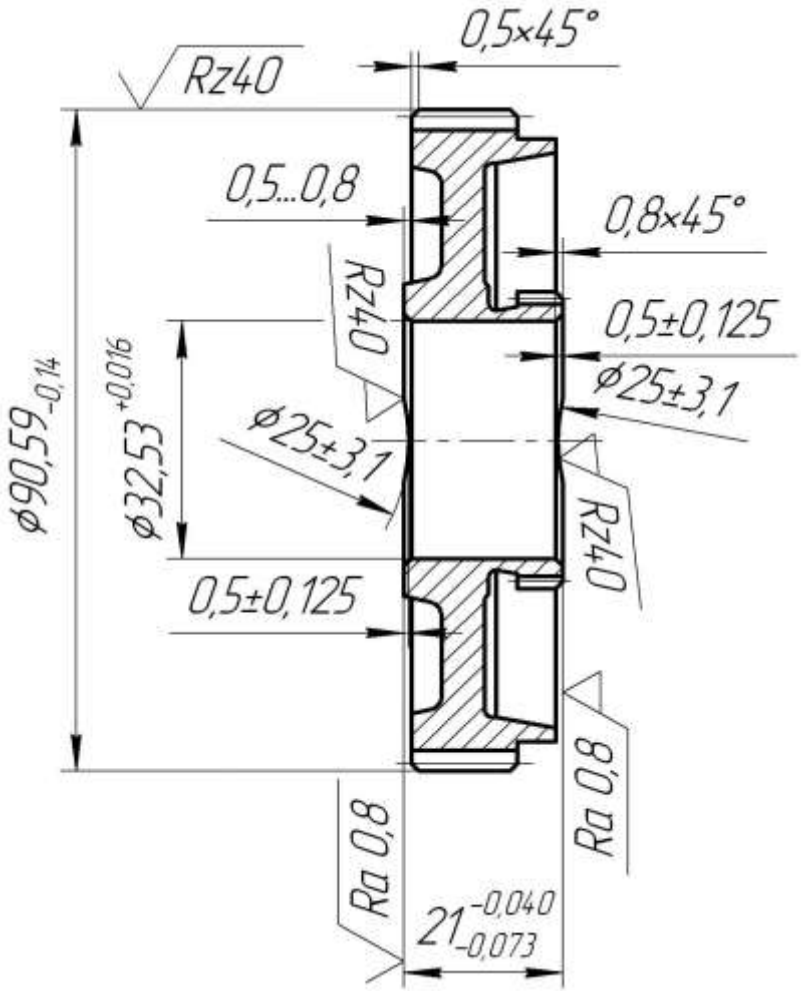


Рис. 3.8. Шестерня ведущая 5-й передачи (деталь)

Нормальный модуль		m_n	1,75	2
Число зубьев		Z	41	21
Угол наклона		β	33°16\	-
Направление зуба			правое	-
Нормальный исходный контур	Угол профиля	α	14°30\	30°
	Коэффициент высоты головки	h_a^*	1,128	
	Коэффициент граничной высоты	h_e^*	2,524	
	Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	P_f\\	0,48	
	Параметры модификации	В соответствии с выражением профиля		
	Коэффициент радиального зазора	C^*	0,684	
Коэффициент смещения		X	0,098	

Московский политехнический университет Кафедра «Технологии и оборудование машиностроения»						Наименование детали	**Технологическая карта** механической обработки и сборки **Базовый техпроцесс АЗЛК**
Преподаватель		Составил студент	Лист 1	Число листов		Шестерня ведущая 5-й передачи КПП М.2141	

№ п/п	Наименование и содержание операции с указанием номера, размеров и допусков обрабатываемых поверхностей	Оборудование	Рабочее приспособление	Наименование инструмента и материала режущей части	Средства контроля	Длина рабочего хода $L_{р.х.}$, мм	Глубина резания t, мм	Подача S	Скорость резания, V	Частота вращения n, $мин^{-1}$	Основное время t_0, мин	Вспомог. время t_0, мин	Штучное время $t_{шт}$, мин	Кол-во станков
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Автоматическая линия													
010	Загрузочная	Тара												
		транспортер												
020	Токарная (лоботокарная обработка)	Токарно-фронтальный 2-х шпинд. авт. ф.Питтлер мод. Петра 1-160/2-2	Патрон с приводом от станка	Резцы со смен. пластин.	Прибор для проверки биения. Штангель								0,75	
030	Агрегатная	Агрегатный станок фирмы «Линденмайер»											0,46	
040	Внутриторцешлифовальная	Внутриторцешлифовальный авт. ф.Механика мод.Мини-нова Т-НЕ	Цанговый патрон	Круг шлиф.	Прибор для проверки биения ПБ-500М Калибр.								0,24	
050	Токарная (лоботокарная обработка)	Токарный фронтальный одношпинд. авт. ф.Питтлер м.Петра 1-160/1-1	Патрон	Резцы со смен. пластин.	Прибор для проверки биения ПБ-500М Калибр.								0,40	
060	Контроль	Контрольный			Прибор									

		стол			для проверки биения мод. ПБ-500М									
070	Зубодолбежная Z=42 m=2	Зубодолбежный станок фирмы «Лоренц» мод. L150R	Зажимное приспособление	Долбяк	Приспособление для проверки венца по роликам									
080	Зубофрезерная Z=42 m=1.75	Зубофрезерный авт. с ЧПУ ф. «Либхерр» мод. LC-152-E	Цанговый патрон		ПБ-500М Нормалемер БВ-5045								0,78	
090	Промывка	Моечная маш. Ф. «Беда» мод. KWB 2-40-50												
100	Контроль	Зубоконтрольный стенд ф. «Сампутсисили» мод. SU –JSA200 Проверка ИМР в 2-х проф. контр.												
110	Зачистка	Установка для снятия заусенцев ф. «Баурдс» мод. A-402.02-00		Резец									0,28	
120	Зубоскашивающая	Зубоскаш. ст-к ф. «Вера» мод. ORS-200	Цанговый патрон		Контр. приспос. для проверки несимметр. скосов								0,61	
130	Зубофасочная	Зубофасочный авт. ф. «Сампутсисили» мод. 250 5М81-2ГА		Спец. ни-т									0,28	
140	Зубошевинговальная Z=42 m=1.75	Зубошевингов. авт. Ф. «Сикмат» мод. SP-32			ПБ-500М Нормалемер ролик								0,66	
150	Промывка	М.М. фирм. «Агулла» мод. СТ-303												
160	Контроль	Контрольный стол			Прибор ПБ-500М									

					Микро-метр МК t00-2									
170	Разгрузка	Транспортер тара												
180	Транспортирование на термич. обработку													
190	Термообработка													
200	Транспортирование													
210	Контроль	Контрольный стол												
220	Загрузка	Транспортер												
230	Шлифовальная	Спец. 4-х позиц. шлиф. ст-к. Ф. «Механика» мод. Нова-модуль 4Т	Цанговый патрон	Круг шлиф.									0,53	
240	Очистка	Центрифуга ф. «Бурдс» мод. А.403.01												
250	Суперфинишная	Суперфинишн. ст-к ф. «Супфи-на» мод. SM 662	Приспособл. за-жимное		Приспо-собл. для проверки конуса									
260	Хонинговальная	Хонинговальн. ст-к ф. «Геринг» мод. М 63-63		Хонголовка									0,66	
270	Промывка	М.М. ф. «Агулла» мод. СТ-303											0.45	
280	Контроль	Зубоконтрольный стенд ф. «Сампутсисили», мод. SU-ISA 200-2Т												
290	Контроль окончательный	Контрольный стол			ИБ.37.201									
300	Разгрузка	Тара												

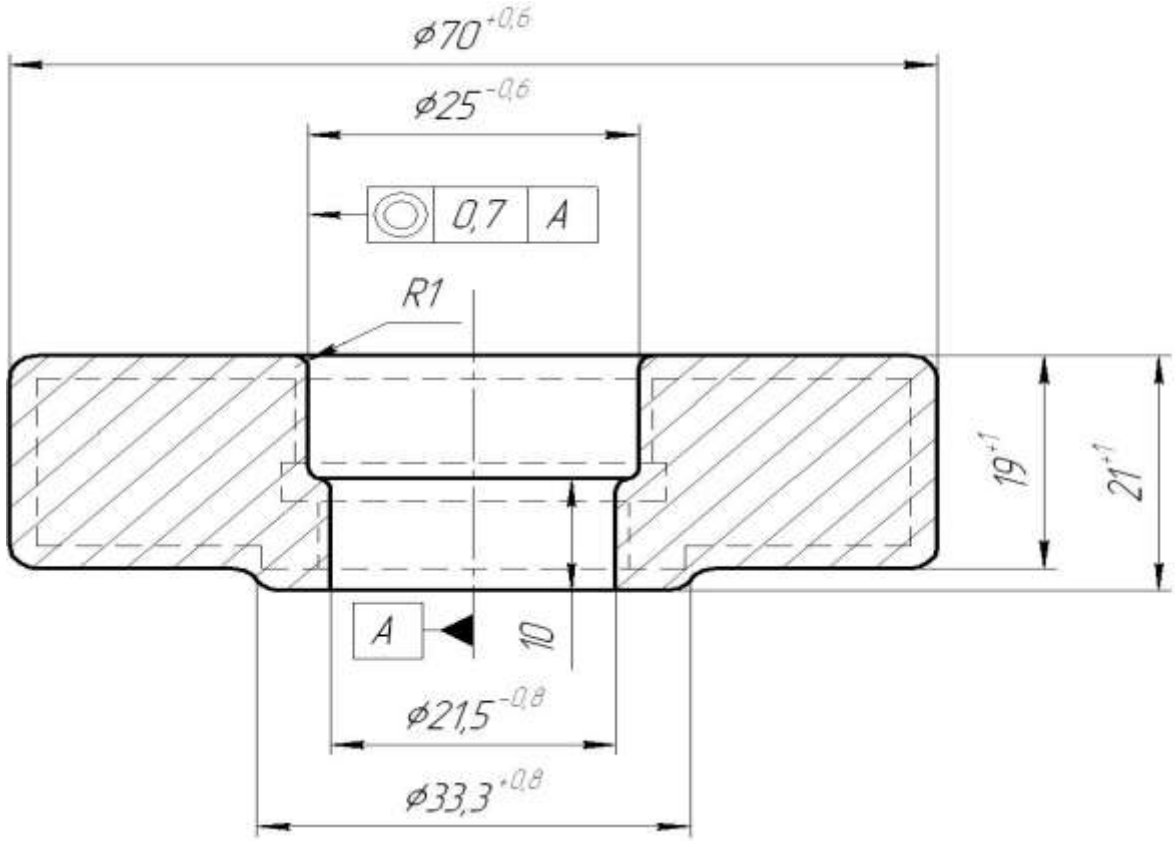
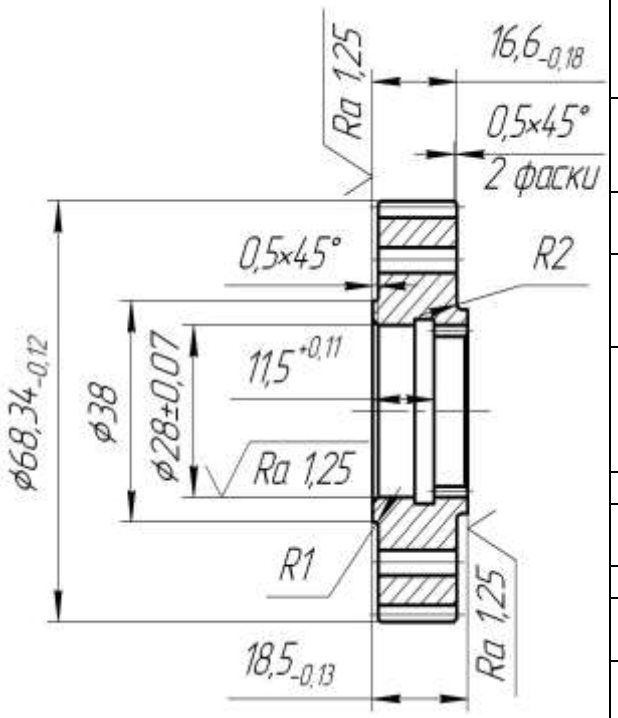


Рис. 3.9. Шестерня ведомая 5-й передачи (заготовка)

1. *Материал - сталь 20ХГНМ.*
2. *Термообработка – изотермический отжиг*
3. *Группа поковок Гр. II НВ<185 ГОСТ 8479-70*
4. *Точность изготовления I кл. ГОСТ 7505-74*
5. *Допускаются внешние дефекты глубиной до 0,5 фактического припуска*
6. *Неуказанные штамповочные уклоны до 1º.*
7. *Очистка от окалины механическим способом.*

Московский государственный технический университет «МАМИ» Кафедра «Технология машиностроения»						**Технологическая карта** механической обработки и сборки								
Преподаватель		Составил студент	Лист 1	Число листов		Шестерня ведомая 5-й передачи КПП М.2141								

№ п/п	Наименование и содержание операции с указанием номера, размеров и допусков обрабатываемых поверхностей	Оборудование	Рабочее приспособление	Наименование инструмента и материала режущей части	Средства контроля	Длина рабочего хода $L_{р.х.}$, мм	Глубина резания t, мм	Подача S	Скорость резания, V	Частота вращения n, мин$^{-1}$	Основное время t_0, мин	Вспомог. время t_0, мин	Штучное время $t_{шт}$, мин	Кол-во станков
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
010 ,1	Лоботокарная (лев) продольная обточка, обточка торцев, обточка отв., снятие фаски	Токарн. ст-к с ЧПУ Петра 1-160/2 Ф. «Питтлер»									0,42	0,12	0,73	
010 ,2	Лоботокарная (прав) продольная обточка, обточка торцев, обточка отв., снятие фаски	Токарн. с ЧПУ Петра 1-160/2 Ф. «Питтлер»									0,40	0,12	0,73	
020	Протягивание шлиц. отв.	Протяжной ст-к «Varinelli»									0,12	0,15	0,40	
030	Агрегатная сверление 4-х отв. и нарез. резьбы М6	Агрегатн. ст-к Ф.«Lindenmaiz»									0,34	0,08	0,42	
040	Лоботокарная об-ка Продольная обточка, об-ка торц., расточка	Токарн. ст-к с ЧПУ Петра 1-160/1 «Питтлер»									0,20	0,08	0,28	
050	Выборочный контроль													
060	Зубофрезерование m=1.75 Z=30	Зубофрез. «Libhezz»											0,98	
070	Промывка	Камера «Beda»												
080	Автоматич. контроль (100%)	Прибор для контроля в 2-х проф. зацепл.									0,33	0,17	0,50	
090	Снятие заусенцев с зубьев	Станок для снятия заусенцев в. “Samputensili”									0,05	0,13	0,28	
100	Шевингование зубьев	Шевинг. ст-к ф. “Sicmat”									0,30	0,10	0,57	



110	Промывка													
120	Контроль													
130	Лоботокарная расточка и снятие фасок	Токарн. ст-к с ЧПУ Петра 1-160/1 «Питтлер»									0,25	0,12	0,47	
140	Мойка	М.М. «Agullo»												
150	Контроль													
160	Внутр. шлиф., шлиф., отв. и торца	Кругошлиф. ст-к									0,41	0,11	0,60	
170	Торцешлиф.	Торцешлиф. ст-к									0,15	0,07	0,22	
180	Мойка													
190	Контроль 100%										0,33	0,17	0,50	

Литература

1. Дащенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий. М. Высшая школа, 1983г.

2. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов: учебное пособие. Москва: Машиностроение, 2005. – 380 с.

3. Кристаль М.Г. Курсовое проектирование средств автоматизации технологического оборудования (вибрационные бункерные загрузочные устройства): учебное пособие/ Кристаль М.Г. – Волгоград: ИУНЛ ВолГТУ, 2010. – 132 с.

4. Автоматизированные технологии и производства в машиностроении/ Самохвалов Е.И., Соломенцев Ю.М., Гречишников В.А./ Под ред. Члена-корреспондента РАН Соломенцева Ю.М. Учебник для студентов вузов, Издание 2-е исп. И доп.- М.: ИЦ ГОУ МГТУ «МАМИ», ЯНУС-К, 2006. – 800 с.

5. Кристаль М.Г. Производительность и надежность сборочных автоматов: монография. - Волгоград: ИУНЛ ВолГТУ, 2011. – 160 с.

6. Схиртладзе А.Г., Воронов В.Н., Борискин В.П. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебное пособие в 2-х томах.- Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2006.