



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология машиностроения»

**АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
РОБОТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА МЕХАНООБРАБОТКИ**

*Задания и методические указания
к курсовому проекту*

Минск
БНТУ
2010

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология машиностроения»

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
РОБОТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА МЕХАНООБРАБОТКИ

Задания и методические указания
к курсовому проекту по дисциплине
«Автоматизация производственных процессов»
для студентов специальностей
1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 04 «Оборудование и технологии
высокоэффективных процессов обработки материалов»

Минск
БНТУ
2010

УДК [621.7/9:005.591.6]:378.147.091.313(075.8)

ББК 34.5я7

А 22

С о с т а в и т е л и :

С.И. Романчук, П.Г. Сухоцкий, И.С. Фролов, Л.В. Курч

Р е ц е н з е н т ы :

И.А. Каштальян, О.В. Якубович

В методических указаниях приведены варианты индивидуальных заданий к курсовым проектам, излагается содержание и порядок их выполнения, а также требования к оформлению и объему.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Анализ применения промышленных роботов (ПР) для загрузки технологического оборудования усложняется, когда перед одним ПР стоит задача обслуживать несколько единиц оборудования в заданной последовательности. Исследование функционирования ПР, загружающего и разгружающего в определенной последовательности это оборудование, представляет значительный интерес и включает в себя изучение производительности роботизированных систем.

Для выполнения любой работы требуются определенные затраты времени:

$$T = t_p + t_B,$$

где T – время, в течение которого производится обработка;

t_p – время, затрачиваемое на рабочие ходы;

t_B – время, затрачиваемое на вспомогательные ходы при выполнении всего цикла обработки заготовки.

Если за период рабочего цикла T автоматическая машина выпускает одно изделие, то при условии бесперебойности работы ее цикловая производительность

$$Q_{ц} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_p + t_B}.$$

Если производится не одно, а P изделий, то цикловая производительность

$$Q_{ц} = \frac{P}{T}.$$

Если в автоматической машине отсутствуют вспомогательные ходы ($t_B = 0$; $T = t_P$) и технологический процесс происходит непрерывно, то цикловая производительность

$$Q_{ц} = \frac{1}{t_P} = K .$$

Величину K называют технологической производительностью рабочей машины или наибольшей технологической производительностью. Повышение технологической производительности достигается интенсификацией режимов обработки, применением новых прогрессивных технологических процессов, сокращением длины обрабатываемого участка, приходящегося на каждый инструмент, совмещением операций между собой и другими методами.

В автоматизированном оборудовании дискретного действия со вспомогательными ходами цикловая производительность всегда меньше технологической.

$$Q_{ц} = K\eta ,$$

где η – коэффициент производительности, ($\eta < 1$).

Однако для того, чтобы оценить фактическую производительность автомата, автоматической линии, гибкой производственной системы, необходимо учесть также внецикловые потери.

$$Q_{\Phi} = \frac{1}{T + \sum t_{\Pi}} = \frac{1}{t_P + t_B + \sum t_{\Pi}} ,$$

где $\sum t_{\Pi} = \frac{\sum Q_{\Pi}}{z}$ – внецикловые потери, т.е. простои, приходящиеся на одну деталь.

Таким образом, фактическая производительность всегда меньше цикловой:

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ис}},$$

где $\eta_{\text{ис}}$ – коэффициент использования ($\eta_{\text{ис}} < 1$).

Причины простоев – различные факторы, часть которых является регламентированными (планово-предупредительная смена инструмента, профилактика или подналадка, уборка и очистка, сдача смены и т.д.), а часть – случайными (отказы систем и их устранение, перебои в снабжении заготовками, инструментом и т.д.). Простоем является и время, потраченное на изготовление деталей с браком.

Для исследования функционирования ПР и анализа производительности предложено две компоновочных схемы роботизированных технологических комплексов (РТК) механообработки: круговая с напольным ПР, работающим в цилиндрической, сферической или угловой системе координат (компоновка I), и линейная с ПР портального типа (компоновка II), работающим в угловой или декартовой системе координат (рис. 1.1). В состав РТК входят также 3 станка (*Б*, *В*, *Г*), входные (*А*) и выходные (*Д*) групповые (межучастковые) накопители и пристаночные одно- и двухместные индивидуальные (межоперационные) накопители. Планировочные схемы достаточно условно заданы в общем виде.

Расчет геометрических параметров РТК с ПР, работающим в цилиндрической системе координат, не вызывает затруднений. На рис. 1.2, *а* показано расположение рабочей зоны станка и пристаночного накопителя в вертикальной плоскости относительно ПР с цилиндрической системой координат. Для выхода из станка ПР должен последовательно выполнять перемещение $x = r_2 - r_0$ и $z = h_2 - h_0$. Поворот вокруг оси *Z* на угол φ_1 осуществляется только по дуге радиусом r_0 и на уровне h_0 (исходное положение); вход в рабочую зону станка – последовательно в обратном порядке, работа с накопителями – аналогично в соответствии с их расположением.

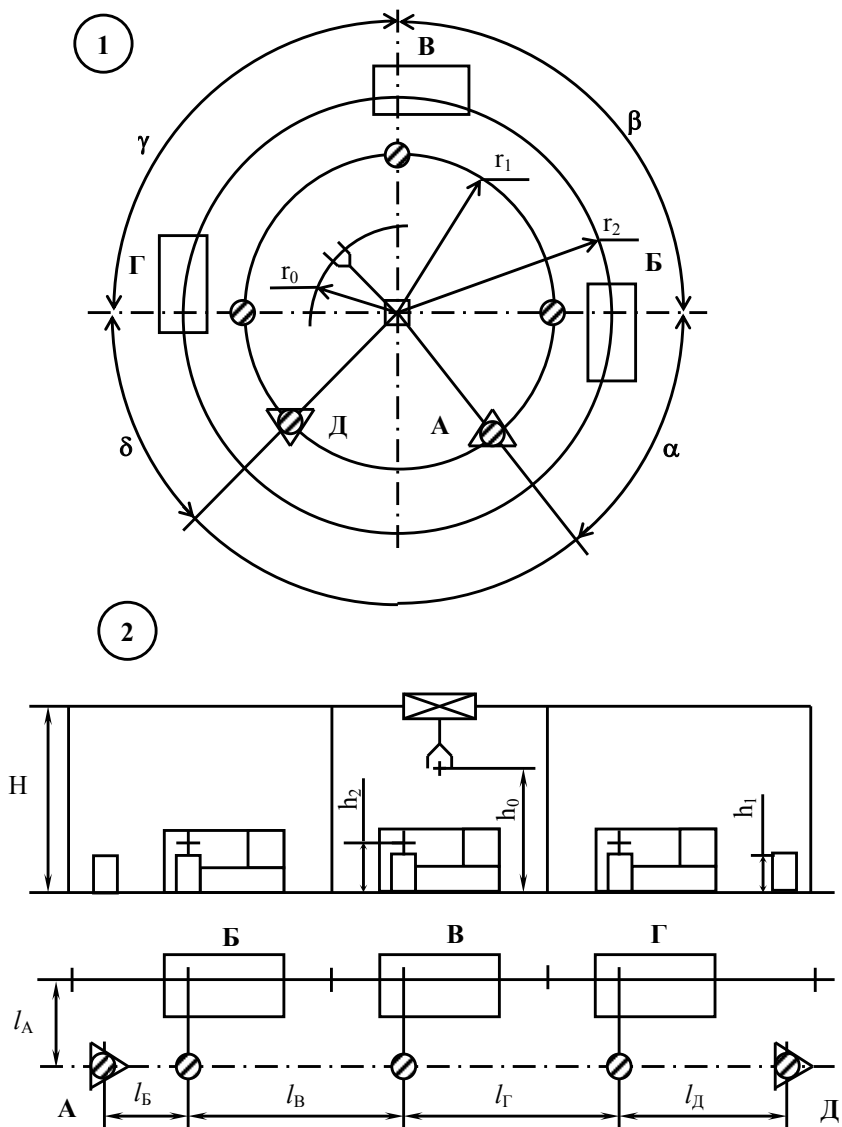


Рис. 1.1. Базовые компоновочные схемы РТК механообработки:
 1 – круговая компоновка с групповым ПР напольного типа;
 2 – линейная компоновка с групповым ПР порталного типа

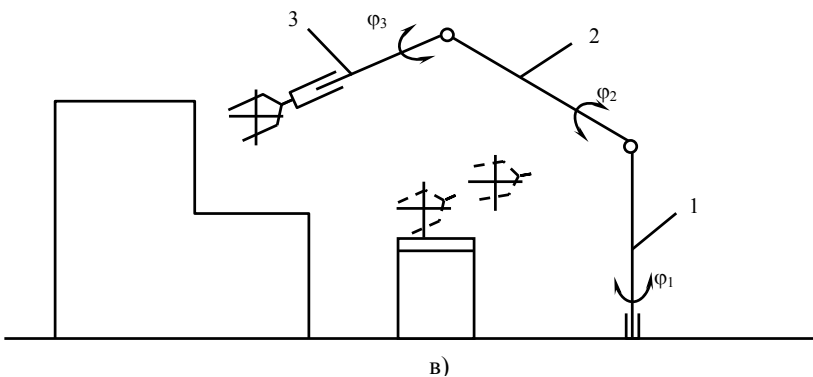
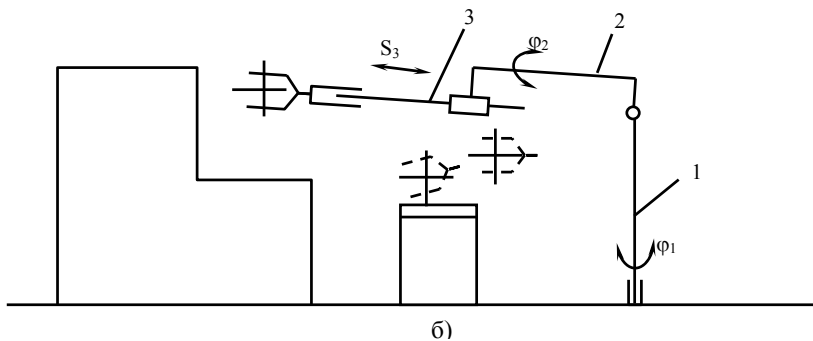
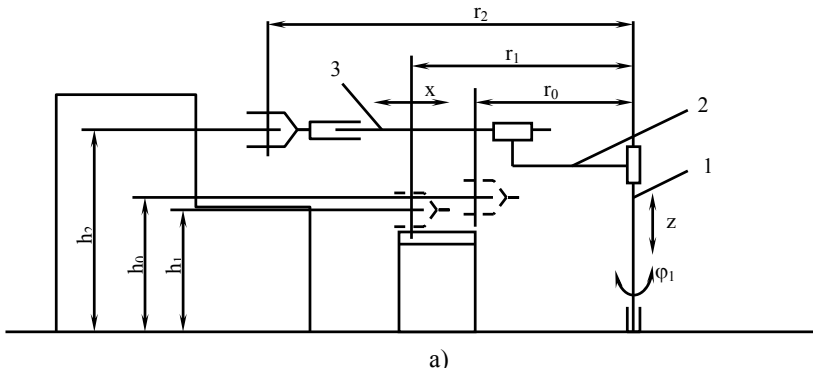


Рис. 1.2. Рабочие зоны РТК механообработки при использовании ПР, работающих в различных системах координат: *а* – напольный ПР в цилиндрической системе координат; *б* – в сферической; *в* – в угловой

ПР со сферической системой координат (рис. 1.2, б) для выхода из станка в исходное положение должен последовательно выполнить перемещение $S_3'' = \sqrt{(h_2 - h_0)^2 + (r_2 - r_0)^2}$ и поворот на требуемый угол φ''_2 ; вход в рабочую зону станка – последовательно в обратном порядке. При необходимости воспользоваться пристаночным накопителем, ПР последовательно выполняет поворот на требуемый угол φ'_2 и перемещение $S_3' = \sqrt{(h_1 - h_0)^2 + (r_1 - r_0)^2}$. Значения перемещение φ'_2 и φ''_2 легко получить геометрическим построением плана перемещений в вертикальной плоскости, принимая во внимание, что длины звеньев $l_1 = 1050$ мм и $l_2 = l_3 = 850$ мм. Поворот от станка к станку вокруг оси Z на угол φ_1 осуществляется аналогично ПР, работающему в цилиндрической системе координат. Все необходимые траектории ПР в РТК получаются комбинированием полученных перемещений при изменении угла φ_1 .

Робот с угловой системой координат (рис. 1.2, в) может выполнять перемещение звеньев 2 и 3 на углы φ''_2 и φ''_3 для выхода из станка в исходное положение с последующим поворотом вокруг оси Z на требуемый угол φ_1 . Если принять, что длины звеньев $l_1 = 1050$ мм и $l_2 = l_3 = 850$ мм, то построением плана перемещений не трудно оценить значения углов φ''_2 и φ''_3 . Аналогично получают значения углов поворота φ'_2 и φ'_3 , требуемых для взаимодействия с накопителем. Все необходимые траектории ПР в РТК получают комбинированием полученных значений φ_1 , φ_2 и φ_3 .

Следует отметить также, что для реализации полного цикла загрузки-разгрузки станков ПР должен осуществить некоторые ориентирующие движения как в рабочей зоне станка, так и в рабочей зоне накопителей. Например, ориентацию и ввод заготовки в патрон станка, переориентацию сдвоенного схвата при перегрузке станка, поиск свободной ячейки и укладка де-

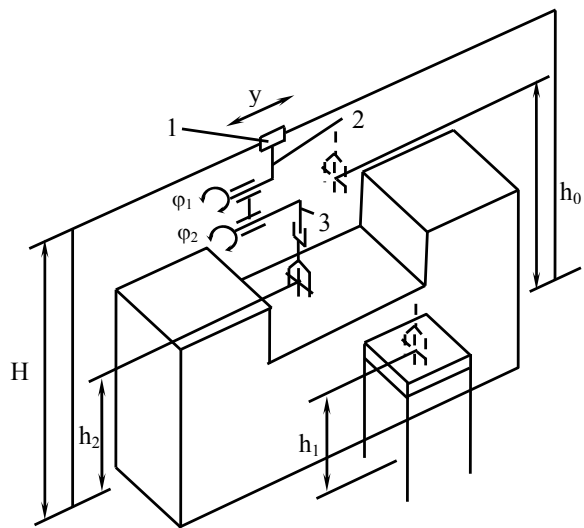
тали в накопитель и т.д. Чтобы не перегружать исходные данные, для расчета можно принять условно, что любое элементарное вспомогательное движение осуществляется за время $t_{\text{всп}} = 0,2$ мин. Если перемещения включают несколько элементарных движений, время необходимо просуммировать в соответствии с количеством элементов движения.

Отдельно с помощью величин $t_{\text{зАЖ}} = 0,1$ мин и $t_{\text{зАХВ}} = 0,1$ мин оценивается время на закрепление (зажим) заготовки в патроне станка и раскрепление (захват) обработанной детали соответственно. Величину $t_{\text{зАХВ}}$ можно использовать также при оценке загрузки-выгрузки накопителей. Приведенные здесь допущения следует использовать и при анализе компоновок РТК с ПР порталного типа.

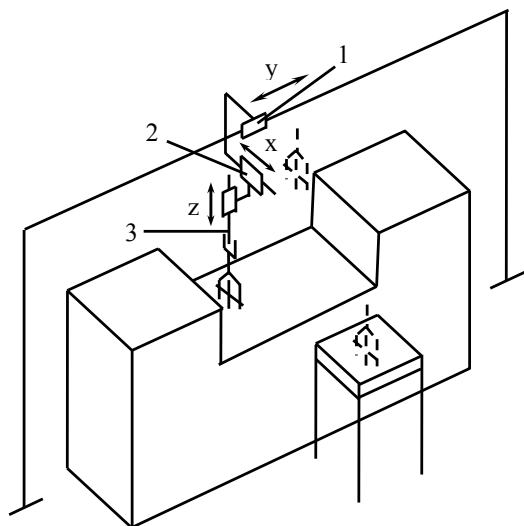
ПР порталной компоновки, работающий в угловой системе координат (рис. 1.3, а), должен выполнить поворот звеньев 2 и 3 на углы φ''_2 и φ''_3 соответственно для выхода из станка в исходное положение с последующим линейным перемещением по оси Y на требуемое расстояние. Для взаимодействия с пристаночным накопителем выполняется поворот звеньев 2 и 3 на углы φ'_2 и φ'_3 . Если принять $H = 2,6$ м; $l_1 = 0,4$ м; $l_2 = l_3 = 0,85$ м, то построением плана перемещений не трудно получить искомые значения углов φ_2 и φ_3 .

Портальный ПР, работающий в декартовой системе (рис. 1.3, б), осуществляет выход из зоны станка в исходное положение вертикальным перемещением по оси Z до уровня h_0 , т. е. $z = h_0 - h_2$. Для выхода в рабочую зону пристаночного накопителя помимо вертикальных перемещений $z = h_0 - h_1$ требуются линейные перемещения по оси X на расстояние $x = l_A$. Общая зона обслуживания формируется сочетанием перемещений по всем трем осям.

После определения геометрических параметров ПР определяют допустимые скорости перемещения заготовки или детали при обеспечении заданной точности позиционирования.



а)



б)

Рис. 1.3. Портальный ПР: а – в угловой системе координат;
б – в декартовой

Для определения скорости линейного позиционирования по координате X в диапазоне перемещений $L_X = 0,05-0,8$ м может быть использована эмпирическая формула

$$V_X = \frac{2L_X \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}},$$

где Δl – погрешность линейного позиционирования, мм;
 M – масса объекта манипулирования, кг.

С дальнейшим увеличением L_X возможности увеличения V_X уменьшаются и при $L_X = 0,8-2$ м используется формула

$$V_X = \frac{1,6L_X \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}.$$

Аналогично, с учетом диапазона перемещений определяются скорости линейного позиционирования по координате Y .

Рассчитанные значения скоростей линейного позиционирования по соответствующим координатам, превышающие значения скоростей, указанных в паспортных данных выбранного ПР, принимаются в соответствии с техническими характеристиками ПР.

Скорость вертикального перемещения схвата можно рассчитать по формуле

$$V_Z = \frac{a_Z \sqrt{L_Z} \cdot \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}},$$

где a_Z – коэффициент, зависящий от конструкции привода:

- при гидравлическом приводе $a_Z = 3$;
- при электромеханическом приводе $a_Z = 3,5$;
- при пневматическом приводе $a_Z = 4$;

L_Z – длина пути при вертикальном перемещении, м.

Для определения допустимой быстроходности устройств поворота может быть использована формула

$$\omega = \frac{0,5\sqrt{\varphi} \cdot \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_K)}},$$

где ω – угловая скорость, с^{-1} ;

φ – угол поворота руки, рад;

L_K – вылет консоли руки робота, м;

δ – погрешность углового позиционирования, с.

Для определения погрешности углового позиционирования используют формулу

$$\delta = \frac{\Delta l}{L_K} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600,$$

где Δl – погрешность линейного позиционирования, м;

L_K – вылет консоли руки робота, м.

Далее определяют время перемещения.

В большинстве ПР используется закон изменения скорости движения, близкий к трапецеидальному. При трапецеидальном законе изменения скорости время T отдельного движения может быть определено по формуле

$$T = \sqrt{\frac{L}{a_K}} \cdot \frac{1 + K(V/\sqrt{a_K L})^2}{V/\sqrt{a_K L}},$$

где L – длина перемещения по соответствующей координате, м;

a_K – ускорение при торможении-разгоне, $\text{м}/\text{с}^2$;

K – коэффициент, зависящий от соотношения ускорений при разгоне и торможении;

V – скорость установившегося движения, $\text{м}/\text{с}$.

На практике установлено, что оптимальные скорости перемещения исполнительных устройств достигались при ускорении $a_K = 4-5 \text{ м/с}^2$. Целесообразно также принять $K = 1$, т.е. модули ускорения при разгоне и торможении принять одинаковыми.

Если вращательное движение рассматривать приведенным к определенному радиусу, то данную расчетную формулу можно использовать и для вращательного движения. Таким образом, время отдельного вращательного движения может быть определено по формуле

$$T = \sqrt{\frac{\varphi}{\varepsilon_K}} \cdot \frac{1 + K \left(\omega / \sqrt{\varepsilon_K \varphi} \right)^2}{\omega / \sqrt{\varepsilon_K \varphi}},$$

где φ – угол поворота руки, рад;

K – коэффициент, зависящий от соотношения ускорений при разгоне и торможении ($K = 1$);

ω – угловая скорость, с^{-1} ;

ε_K – угловое ускорение при торможении-разгоне, с^{-2} .

Угловое ускорение определяется по формуле

$$\varepsilon_K = \frac{a_K}{L_K},$$

где a_K – ускорение при торможении-разгоне, м/с^2 ;

L_K – вылет консоли руки робота, м.

На основе полученных расчетных значений геометрических и кинематических параметров можно построить циклограмму работы РТК, а также провести анализ и оценку производительности.

2. РАСЧЕТ ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА

Расчет механических захватных устройств включает нахождение сил, действующих в местах контакта заготовки и губок; определение усилий привода; проверку отсутствия поврежденной поверхности детали при захватывании; расчет на прочность деталей захватных устройств. Последний ведется по обычным методикам расчета деталей машин.

Расчет сил, действующих в местах контакта захватного устройства; с объектами манипулирования, ведется по формулам табл. 2.2.

Различают следующие схемы удержания объектов в механическом захватном устройстве:

- деталь поддерживается губкой захватного устройства, силы трения мало влияют или не влияют совсем на механизм удержания детали (схемы 5, 6, 7 в табл. 2.2);
- деталь удерживается благодаря запирающему действию губок при ограниченном влиянии сил трения (схемы 2 и 3 в табл. 2.2);
- деталь удерживается силами трения (схемы 1 и 4 в табл. 2.2).

На практике обычно встречается сложное нагружение захватных устройств, при котором имеет место комбинация описанных случаев. При этом в процессе манипулирования объектом характер и схемы удержания детали могут изменяться. Поэтому расчет необходимо вести для критического случая нагружения.

Расчет усилий привода ведется по формулам табл. 2.1, где рассмотрены примеры применения клиновых, рычажных и реечных передаточных механизмов. Рычажные передаточные механизмы получили наибольшее распространение, поскольку обеспечивают выигрыш в усилиях зажима детали. По сравнению с рычажными реечные передачи имеют меньшие габаритные размеры, обеспечивают большее раскрытие губок, но не дают выигрыша в усилиях зажима объекта.

Расчет удерживающих моментов привода захватных устройств ведется по формулам, приведенным в табл. 2.3.

Параметры, задаваемые разработчиком (см. табл. 2.1):

a_i, c_i – расстояния от точки поворота губок до i -ой точки контакта;

b – размер рычага;

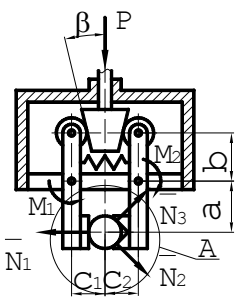
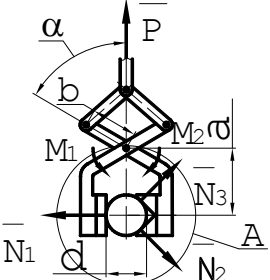
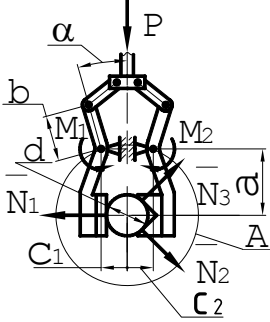
α – угол рычага.

Определение напряжений на поверхностях контакта захватного устройства с объектом манипулирования может потребоваться как при расчете устройства, так и при установлении возможности повреждения объекта при его захватывании и удержании. В ряде случаев, особенно при удержании детали благодаря силам трения, усилия, действующие в местах контакта с захватным устройством, бывают значительными. Это может привести к повреждению поверхности детали, что недопустимо при чистовой обработке, или к повреждению зажимных губок захватного устройства.

Предлагаемые варианты заданий представлены в табл. 3.2.

Таблица 2.1

Формулы для расчета усилий привода
передаточных механизмов захватных устройств

№ П/П	Схема передаточного механизма	Расчетные формулы
1		$P = \frac{\sum_{j=1}^2 M_j}{b \eta_p} \operatorname{tg} \beta;$ <p>$\eta_p = 0,7 - 0,88$ – при осях на подшипниках скольжения; $\eta_p = 0,51 - 0,65$ – при осях на подшипниках скольжения; $\beta = 4 - 8^\circ$</p>
2		$P = \frac{\sum_{j=1}^2 M_j}{b \eta_p} \cos \alpha;$ <p>$\eta_p = 0,9 - 0,95$</p>
3		$P = \frac{\sum_{j=1}^2 M_j}{b \eta_p} \cos \alpha;$ <p>$\eta_p = 0,9 - 0,95$</p>

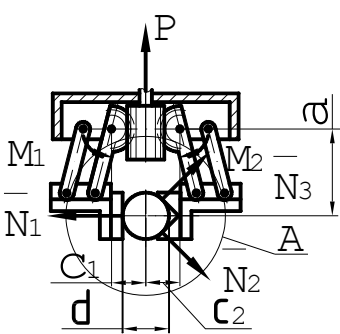
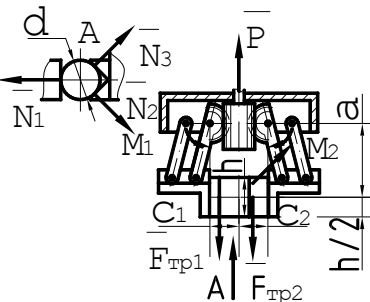
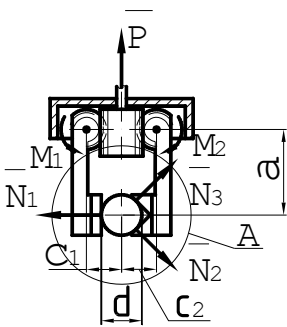
№ п/п	Схема передаточного механизма	Расчетные формулы
1	2	3
4		
5		$P = \frac{\sum_{j=1}^2 M_j}{m_c z_c \eta_p};$ <p>m_c – модуль сектора; z_c – полное число зубьев сектора; $\eta_p = 0,92 - 0,96$</p>
6		

Таблица 2.2

Формулы для расчета сил, действующих в местах контакта заготовки и элементов захвата для различных вариантов исполнения части А (см. таблицу 2.1)

Расчетная схема		Расчетные формулы
№ п/п	Варианты исполнения губок захвата	
1	2	3
1		$N_1 = N_2 = \frac{P}{2f};$ $F_{mp1} = F_{mp2} = \frac{P}{2}$
2		$N_1 = \frac{P \sin \alpha}{f(1 + \sin \alpha)};$ $N_2 = N_3 = \frac{P}{2f(1 + \sin \alpha)};$ $F_{mp1} = \frac{P \sin \alpha}{1 + \sin \alpha};$ $F_{mp2} = F_{mp3} = \frac{P}{2(1 + \sin \alpha)}$
3		$N_1 = N_2 = \frac{P \sin \alpha_2}{2f(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)};$ $N_3 = N_4 = \frac{P \sin \alpha_1}{2f(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)};$ $F_{mp1} = F_{mp2} = \frac{P \sin \alpha_2}{2(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)};$ $F_{mp3} = F_{mp4} = \frac{P \sin \alpha_1}{2(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)}$

Расчетная схема		Расчетные формулы
№ п/п	Варианты исполнения губок захвата	
1	2	3
4		$N_1 = \frac{P \cos \theta}{2f};$ $N_2 = \frac{P \cos \theta}{2f} + P \sin \theta;$ $F_{mp1} = F_{mp2} = \frac{P \cos \theta}{2}$
5		$N_1 = \begin{cases} \frac{P \sin(\alpha - \theta)}{\cos \alpha}; & \text{при } \alpha \geq \theta \\ 0; & \text{при } \alpha < \theta \end{cases};$ $N_2 = \begin{cases} \frac{P \cos \theta}{\cos \alpha}; & \text{при } \alpha \geq \theta \\ \frac{P \sin(\alpha + \theta)}{\sin 2\alpha}; & \text{при } \alpha < \theta \end{cases};$ $N_3 = \begin{cases} 0; & \text{при } \alpha \geq \theta \\ \frac{P \sin(\theta + \alpha)}{\sin 2\alpha}; & \text{при } \alpha < \theta \end{cases}$
6		$N_1 = \frac{P \cos \theta}{\cos \alpha};$ $N_2 = \frac{P \sin(\alpha + \theta)}{\cos \alpha}$
7		$N_1 = \begin{cases} \frac{P \sin(\alpha_2 - \theta)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}; & \text{при } \alpha_2 \geq \theta \\ 0; & \text{при } \alpha_2 < \theta \end{cases};$ $N_2 = \begin{cases} \frac{P \sin(\alpha_2 + \theta)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}; & \text{при } \alpha_2 \geq \theta \\ \frac{P \sin(\alpha_2 + \theta)}{\sin 2\alpha_2}; & \text{при } \alpha_2 < \theta \end{cases};$ $N_3 = \begin{cases} 0; & \text{при } \alpha_2 \geq \theta \\ \frac{P \sin(\theta - \alpha_2)}{\sin 2\alpha_2}; & \text{при } \alpha_2 < \theta \end{cases}$

Таблица 2.3

Формулы для расчета удерживающих моментов
привода захватных устройств

Вариант исполнения губок захвата (по табл. 2.2)	Исполнение передаточного механизма (по табл. 2.1)	Удерживающий момент
1	1, 2, 3, 4, 6	$M_i = N_i a$; где $i = 1, 2$
	5	$M_i = N_i a + F_{мпi} (c_i - d/2)$; где $i = 1, 2$
2	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 a$; $M_2 = N_2 (a \sin \alpha + c_2 \cos \alpha) +$ $+ N_3 (a \sin \alpha - c_2 \cos \alpha)$
	5	$M_1 = N_1 a + F_{мп1} (c_1 - d/2)$; $M_2 = N_2 a \sin \alpha + N_3 a \sin \alpha +$ $+ (F_{мп2} + F_{мп3}) (c_2 - d/2)$
3	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 (a \sin \alpha_1 - c_1 \cos \alpha_1) +$ $+ N_2 (a \sin \alpha_1 + c_1 \cos \alpha_1)$; $M_2 = N_3 (a \sin \alpha_2 + c_2 \cos \alpha_2) +$ $+ N_4 (a \sin \alpha_2 + c_2 \cos \alpha_2)$
	5	$M_1 = N_1 a \sin \alpha_1 + N_2 a \sin \alpha_1 +$ $+ (F_{мп1} + F_{мп2}) (c_1 - d/2)$; $M_2 = N_3 a \sin \alpha_2 + N_4 a \sin \alpha_2 +$ $+ (F_{мп3} + F_{мп4}) (c_2 - d/2)$
4	1, 2, 3, 4, 6	$M_i = N_i a + F_{мпi} (c_i - d/2)$; где $i = 1, 2$
	5	$M_i = N_i a$; где $i = 1, 2$
5	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 a$; $M_2 = N_2 (a \sin \alpha + c_2 \cos \alpha) +$ $+ N_3 (a \sin \alpha - c_2 \cos \alpha)$
	5	$M_1 = N_1 a$; $M_2 = a (N_2 + N_3) \sin \alpha$
6	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 (a \sin \alpha + c_1 \cos \alpha)$; $M_2 = N_2 a$
	5	$M_1 = N_1 a \sin \alpha$; $M_2 = N_2 a$
7	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 (a \sin \alpha_1 + c_1 \cos \alpha_1)$; $M_2 = N_2 (a \sin \alpha_2 + c_2 \cos \alpha_2) +$ $+ N_3 (a \sin \alpha_2 - c_2 \cos \alpha_2)$
	5	$M_1 = N_1 a \sin \alpha_1$; $M_2 = a (N_2 + N_3) \sin \alpha_2$

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные в соответствии с вариантом задания выбираются из табл. 3.1 и табл. 3.2. Римскими цифрами (I или II) в строке задания обозначена базовая компоновка – круговая или линейная (см. рис 1.1). Индекс рядом с римской цифрой означает емкость пристаночного накопителя (а – одноместный, в – двухместный). Заглавная буква в строке задания – тип системы координат ПР (Ц – цилиндрическая, С – сферическая, У – угловая, Д – декартовая). Кроме того, для всех вариантов следует принять следующие исходные параметры: емкость входного (выходного) накопителя – 10 шт.; время установки ($t_{ЗАЖ}$), снятия ($t_{ЗАХВ}$) детали – 0,1 мин; время вспомогательных движений ($t_{ВСП}$) – 0,2 мин; расстояние от портала ПР до линии расположения накопителей (L_A) – 0,8 м; высота портала (H) – 2,6 м.

Остальные параметры обозначены следующим образом:

M – масса заготовки, кг;

Δl – погрешность линейного позиционирования, мм;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – углы расположения оборудования, градусы;

r_0, r_1, r_2 – радиусы расположения исходной позиции, накопителей и оборудования соответственно, м;

$l_A, l_B, l_B, l_\Gamma, l_D$ – линейные параметры компоновочной схемы, м;

h_0, h_1, h_2 – уровни расположения исходной позиции, накопителей и оборудования соответственно, м;

t_B, t_B, t_Γ – время на обработку на позициях B, B, Γ соответственно, мин.

Маршрут обработки задан в виде последовательности позиций.

Параметры РТК и условия обработки

Номер вар.	Компоновка	Сист. коорд.	M, кг	$\pm \Delta l$, мм	Углы расположения, градусы				Радиусы расположения, м			Линейные параметры, м				Уровни расположения, м			Время обработки, мин			Маршрут обработки
					α	β	γ	δ	r_0	r_1	r_2	l_b	l_B	l_T	l_D	h_0	h_1	h_2	t_b	t_B	t_T	
1	Ia	Ц	5	0,1	60	90	90	60	0,6	0,8	1,2	-	-	-	-	1,2	0,65	1,4	4,2	3,8	3,6	АБВГД
2		С																				
3		У																				
4	IIa	У	10	0,2	-	-	-	-	-	-	-	2,8	6,0	6,0	4,2	2,2	1,0	1,4	6,4	5,2	4,8	-//-
5		Д																				
6		Ц																				
7	Ia	С	10	0,2	60	60	60	60	0,6	0,8	1,4	-	-	-	-	1,0	0,65	1,4	4,8	3,6	3,2	АБВГД
8		У																				
9		У																				
10	IIa	Д	20	0,3	-	-	-	-	-	-	-	2,0	5,0	5,0	3,0	2,0	1,0	1,4	6,8	3,6	3,6	-//-
11		Ц																				
12		С																				
13	Ia	У	15	0,5	30	90	90	60	0,6	1,2	1,4	-	-	-	-	0,8	0,65	1,4	3,8	3,4	3,4	АБВГД
14		У																				
15		Д																				
16	IIa	Ц	30	0,3	-	-	-	-	-	-	-	2,8	5,6	5,6	3,2	1,8	1,0	1,4	5,8	5,2	5,2	-//-
17		С																				
18		У																				
19	Ia	У	20	0,5	60	90	90	30	0,4	1,0	1,2	-	-	-	-	1,2	0,65	1,4	6,0	3,8	3,6	АВГБД
20		Д																				
21		Ц																				
22	IIa	У	40	1,0	-	-	-	-	-	-	-	2,0	6,0	6,0	3,2	2,2	1,0	1,4	4,6	4,4	4,4	-//-
23		С																				
24		У																				
25	Ia	Д	25	0,5	45	90	90	45	0,6	0,8	1,2	-	-	-	-	1,0	0,65	1,4	4,0	3,6	3,4	АГВБД
24		У																				
25		Д																				

Окончание табл. 3.1

Номер вар.	Комп.-новка	Сист. коорд.	M, кг	$\pm \Delta l$, мм	Углы расположения, градусы				Радиусы расположения, м			Линейные параметры, м				Уровни расположения, м			Время обработки, мин			Маршрут обработки
					α	β	γ	δ	r_0	r_1	r_2	l_B	l_V	l_T	l_D	h_0	h_1	h_2	t_B	t_V	t_T	
26	Ia	Ц	15	0,5	30	90	90	30	0,6	1,0	1,2	-	-	-	-	0,8	0,65	1,4	2,8	2,6	2,0	АГБВД
27		С																				
28		У																				
29	IIa	У	25	1,0	-	-	-	-	-	-	-	3,2	6,0	6,0	4,6	1,8	1,0	1,4	5,0	4,2	4,2	-//-
30		Д																				
31	Ib	Ц	15	0,2	60	60	60	60	0,6	1,2	1,4	-	-	-	-	1,2	0,65	1,6	3,8	4,2	3,6	АБВГД
32		С																				
33		У																				
34	IIb	У	40	1,0	-	-	-	-	-	-	-	2,0	5,0	5,0	3,0	2,2	1,0	1,6	6,4	4,8	5,2	-//-
35		Д																				
36	Ib	Ц	10	0,3	60	90	90	60	0,8	1,2	1,4	-	-	-	-	1,0	0,65	1,6	3,2	3,6	4,8	АБГВД
37		С																				
38		У																				
39	IIb	У	30	0,5	-	-	-	-	-	-	-	2,8	6,0	6,0	4,2	2,0	1,0	1,6	3,6	6,8	3,6	-//-
40		Д																				
41	Ib	Ц	5	0,2	60	90	90	30	0,8	1,0	1,4	-	-	-	-	0,8	0,65	1,6	3,4	4,0	3,8	АВБГД
42		С																				
43		У																				
44	IIb	У	20	0,5	-	-	-	-	-	-	-	2,0	6,0	6,0	3,2	1,8	1,0	1,6	5,2	5,2	5,8	АВБГД
45		Д																				
46	Ib	Ц	15	1,0	30	90	90	60	0,6	1,0	1,4	-	-	-	-	1,2	0,65	1,6	3,6	3,8	6,0	АВГБД
47		С																				
48		У																				
49	IIb	У	10	0,3	-	-	-	-	-	-	-	2,8	5,6	5,6	3,2	2,2	1,0	1,6	4,4	4,4	4,8	-//-
50		Д																				

Параметры захватного устройства

Вариант / Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Схема передаточного механизма по таблице 2.1	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1
Вариант исполнения губок захвата по таблице 2.2	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
Диаметр заготовки, мм	50	55	60	70	80	75	65	60	80	90	75	70	80	100	110	85	90	95	120	125	90	100	85	100	105
Масса заготовки, кг	5	5	5	10	10	10	10	10	20	20	15	15	15	30	30	20	20	20	40	40	25	25	25	30	30
Угол призмы 2α (первой призмы $2\alpha_1$), °	–	90	120	–	60	90	120	–	120	90	–	90	120	60	–	120	90	–	60	90	120	–	90	60	–

Продолжение табл. 3.2

Вариант / Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Угол второй призмы $2\alpha_2$, °	-	-	60	-	-	-	90	-	-	60	-	-	-	120	-	-	120	-	-	-	120	-	-	60	-
Угол поворота плоскости разъема захвата θ , °	-	-	-	15	0	45	60	-	-	-	0	45	60	15	-	-	-	45	60	15	30	-	-	-	60
Модуль сектора m_c , мм	-	-	-	1,5	1,5	1,5	-	-	-	2,5	2	3	-	-	-	3	2	3	-	-	-	2,5	2	2,5	-
Число зубьев сектора z_c	-	-	-	17	19	21	-	-	-	21	19	17	-	-	-	17	19	21	-	-	-	19	17	21	-
Коэффициент трения, f	0,3	0,15	0,3	0,1	-	-	-	0,1	0,1	0,15	0,3	-	-	-	0,35	0,3	0,1	0,1	-	-	-	0,1	0,15	0,15	0,3

Вариант / Параметр	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Схема передаточного механизма по таблице 2.1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
Вариант исполнения губок захвата по таблице 2.2	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1
Диаметр заготовки, мм	70	80	65	85	100	75	65	80	130	115	75	70	80	140	130	45	55	35	85	90	70	65	75	55	50
Масса заготовки, кг	15	15	15	25	25	15	15	15	40	40	10	10	10	30	30	5	5	5	20	20	15	15	15	10	10
Угол призмы 2α (первой призмы $2\alpha_1$),	60	90	120	–	120	90	–	60	90	120	–	120	60	–	90	120	90	–	60	60	–	90	120	120	–

Окончание табл. 3.2

Вариант / Параметр	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Угол второй призмы $2\alpha_2$, °	–	–	60	–	–	60	–	–	–	90	–	–	120	–	–	–	120	–	–	90	–	–	–	60	–
Угол поворота плоскости разъема захвата θ , °	10	20	30	–	–	–	40	50	60	0	–	–	–	20	30	0	50	–	–	–	30	0	10	40	–
Модуль сектора m_c , мм	–	–	2,5	3,5	1,5	–	–	–	3	2	2	–	–	–	2,5	3	2	–	–	–	2,5	2,5	3	–	–
Число зубьев сектора z_c	–	–	21	17	19	–	–	–	17	21	19	–	–	–	17	21	19	–	–	–	21	17	17	–	–
Коэффициент трения, f	–	–	–	0,1	0,3	0,15	0,3	–	–	–	0,3	0,35	0,3	0,1	–	–	–	0,1	0,35	0,1	0,15	–	–	–	0,3

4. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В курсовом проекте требуется провести сравнительный анализ производительности РТК для случаев использования ПР с одним и со сдвоенным схватами, а также в вариантах с использованием пристаночного накопителя (одно- или двухместного) и без него.

Курсовой проект содержит следующие разделы:

1. Введение.
2. Анализ компоновочной схемы РТК. Выбор моделей металлорежущих станков и ПР.
3. Алгоритм функционирования РТК.
4. Расчет геометрических и кинематических параметров. Построение циклограммы работы РТК.
5. Анализ и оценка производительности РТК. Поиск оптимального алгоритма функционирования РТК.
6. Расчет коэффициентов загрузки оборудования и ПР.
7. Расчет захватного устройства ПР.
8. Заключение.

Раздел 2 должен содержать пример реализации заданной компоновки РТК в механообработке с использованием конкретных моделей металлорежущих станков и ПР.

Форма представления циклограммы проекта РТК может быть произвольной.

Курсовой проект выполняется в виде пояснительной записки на 30–35 страницах текста формата А4, включая рисунки, схемы, таблицы. Графическая часть проекта должна содержать: компоновочную схему РТК, общий вид выбранного ПР с указанием его технических характеристик, схемы захватного устройства ПР (схему передаточного механизма и схему губок захвата), схему алгоритма функционирования РТК, циклограмму работы РТК. Курсовой проект должен включать в указанной последовательности титульный лист, задание на курсовой проект, аннотацию (краткое содержание выполненной

работы, сведения о ее объеме, количестве рисунков, таблиц, библиографических источников), оглавление, основную часть проекта, заключение, список литературы, приложения.

По указанию руководителя курсового проекта в объем может быть включен пункт по научно-исследовательской или учебно-методической работе с выполнением графической части до одного листа формата А1.

Выполненный курсовой проект подписывается студентом и руководителем и представляется на защиту в комиссию, назначенную заведующим кафедрой. При определении оценки учитывается ритмичность и качество выполнения проекта, а также фактический уровень инженерной подготовки студента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование автоматизированного производственного оборудования / М.М. Кузнецов, Б.А. Усов, В.С. Стародубов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
2. Механика промышленных роботов: учебное пособие для вузов: в 3 кн. / под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. – М.: Высшая школа, 1989. – Кн. 3: Основы конструирования / Е.И. Воробьев [и др.]. – 383 с.
3. Кузнецов, М.М. Автоматизация производственных процессов / М.М. Кузнецов, Л.И. Волчкевич, Ю.П. Замчалов; под ред. Т.А. Шаумяна. – М.: Высшая школа, 1978. – 431 с.
4. Макаров, И.М. Робототехника и гибкие автоматизированные производства: в 9 кн. / И.М. Макаров. – М.: Высшая школа, 1986. – Кн. 7: Гибкие автоматизированные производства в отраслях промышленности / И.М. Макаров [и др.]. – 176 с.
5. Бурдаков, С.Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев. – М.: Высшая школа, 1986. – 264 с.
6. Козырев, Ю.Г. Промышленные роботы: справочник / Ю.Г. Козырев. – М.: Машиностроение, 1983. – 376 с.
7. Асфаль, Р. Роботы и автоматизация производства / Р. Асфаль; пер. с англ. М.Ю. Евстигнеева. – М.: Машиностроение, 1989. – 448 с.
8. Андрееенко, С.Н. Проектирование приводов манипуляторов / С.Н. Андрееенко, М.С. Ворошилов, Б.А. Петров. – Л.: Машиностроение, 1975. – 312 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	3
2. РАСЧЕТ ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА	14
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	21
4. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ..	28
ЛИТЕРАТУРА	30

Учебное издание

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
РОБОТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА МЕХАНООБРАБОТКИ

Задания и методические указания
к курсовому проекту по дисциплине
«Автоматизация производственных процессов»
для студентов специальностей
1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 04 «Оборудование и технологии
высокоэффективных процессов обработки материалов»

С о с т а в и т е л и :

РОМАНЧУК Сергей Иванович
СУХОЦКИЙ Павел Геннадьевич
ФРОЛОВ Игорь Станиславович
КУРЧ Леонид Витальевич

Редактор Т.А. Подолякова
Компьютерная верстка А.С. Жук

Подписано в печать 19.04.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,45. Тираж 100. Заказ 1209.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.