

УДК (UDC) 621.01

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ MECHANIC ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСНОВНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА ПОДЪЕМНОЙ
ПЛАТФОРМЫAPPLICATION OF THE MECHANIC PROGRAM IN DETERMINING THE MAIN
PARAMETERS OF THE ELECTROMECHANICAL DRIVE OF THE LIFTING
PLATFORMКопылов А.З.¹, Лавров В.Ю.², Лычагин Ю.В.², Осипов В.И.²
Kopylov A.Z.¹, Lavrov V.Yu.², Lychagin Yu.V.², Osipov V.I.²¹ – Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I (Санкт-Петербург, Российская Федерация)² – Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им Д.Ф.Устинова (Санкт-Петербург, Российская Федерация)¹ – St. Petersburg state University of Railways of Emperor Alexander I (St. Petersburg, Russian Federation)² – Baltic state technical University "VOENMEKH" named After D. F. Ustinov (St. Petersburg, Russian Federation)

Аннотация. В статье рассмотрен процесс проектирования на раннем (предэскизном) этапе электро-механического привода подъемной платформы, представляющего собой совокупность асинхронного частотно-регулируемого электрического двигателя, двухступенчатого эвольвентного косозубого зубчатого редуктора и рычажного механизма ножничного типа. На предварительном этапе проектирования электро-механического привода подъемной платформы определялась его структура, виды входящих в ее состав двигателей и механизмов, а также основные технические характеристики привода. В частности, определялись параметры рычажного механизма (геометрические и массо-инерционные характеристики), зубчатого редуктора (геометрические параметры, модули, числа зубьев, передаточные числа), осуществлен выбор электродвигателя, проведен расчет кинематических и силовых характеристик, динамическое исследование привода. Предварительное проектирование было осуществлено с использованием программы Mechanic. В результате предпроектного исследования было сформировано схемно-конструктивное решение подъемной платформы и электро-механического привода, определены основные их технические характеристики. В результате было доказано, что использование программы Mechanic может быть эффективно применено на начальных этапах проектирования подъемной платформы и различных подъемно-транспортных механизмов и машин.

Ключевые слова: подъемная платформа, электро-механический привод, программа Mechanic.

Дата принятия к публикации: 05.02.2020
Дата публикации: 25.03.2020

Сведения об авторах:

Копылов Александр Зосимович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Подъ-

Abstract. The article considers the issue of designing at an early stage electromechanical drive of the lifting platform, which is a set of asynchronous frequency-controlled electric motor, two-stage involute bevel gear and lever mechanism scissor type. At the preliminary stage of designing the electromechanical drive of the lifting platform, its structure, types of engines and mechanisms included in it, as well as the main technical characteristics of the drive were determined. In particular, we determined the parameters of the linkage (geometric and mass-inertial characteristics), gear reducer (geometrical parameters, modules, numbers of teeth, gear ratio), carried out the choice of motor, calculation is made of kinematical and power characteristics, as well as dynamic study of the drive. The preliminary design was carried out using the Mechanic program, which does not require significant resources of a personal computer. As a result of the pre-design study, a schematic and structural solution of the lifting platform and electromechanical drive was formed, and their main technical characteristics were determined. As a result, it was proved that the use of the Mechanic program can be effectively applied at the initial stages of the design of the lifting platform, as well as various lifting and transport mechanisms and machines.

Keywords: lifting platform, electromechanical drive, Mechanic program.

Date of acceptance for publication: 05.02.2020
Date of publication: 25.03.2020

Authors' information:

Alexander Z. Kopylov – Candidate Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the

емно-транспортные, путевые и строительные машины» Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I, *e-mail: kopylovaz@yandex.ru.*

Лавров Валентин Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы приводов, мехатроника и робототехника» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им Д.Ф. Устинова, *e-mail: lavrov060347@yandex.ru.*

Лычагин Юрий Викторович – старший преподаватель кафедры «Системы приводов, мехатроника и робототехника» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им Д.Ф. Устинова, *e-mail: lyv1281@yandex.ru.*

Осипов Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы приводов, мехатроника и робототехника» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им Д.Ф. Устинова, *e-mail: ovi-spb@yandex.ru.*

† Department "Lifting and transport, track and construction machines" at St. Petersburg state University of ways of the Emperor Alexander I, *e-mail: kopylovaz@yandex.ru.*

† **Valentin Yu. Lavrov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Drive systems, mechatronics and robotics" at Baltic State Technical University "VOENMEKh" named after D.F. Ustinov, *e-mail: lavrov060347@yandex.ru.*

† **Yuri V. Lychagin** – Senior Lecturer of the Department "Drive systems, mechatronics and robotics" at Baltic State Technical University "VOENMEKh" named after D.F. Ustinov, *e-mail: lyv1281@yandex.ru.*

† **Vladimir I. Osipov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Drive systems, mechatronics and robotics" at Baltic State Technical University "VOENMEKh" named after D.F. Ustinov, *e-mail: ovi-spb@yandex.ru.*

1. Введение

Подъемно-транспортные машины играют важную роль в развитии современной экономики России. Их разработка предполагает принятие обоснованных и взвешенных технических решений на ранних стадиях проектирования, связанных с выбором рациональных схем и параметров. Такой подход позволит повысить эффективность работы данных технических систем, снизить себестоимость, уменьшить стоимость самого процесса проектирования машин.

Проектирование подъемно-транспортной машины является совокупностью научно-исследовательских и конструкторских работ с целью формирования технической документации для их изготовления.

На ранних (предэскизных) этапах проектирования подъемно-транспортной машины осуществляется оформление общей неточной информации о будущем техническом устройстве в более четкие представления о схемно-конструктивных его решениях.

На данном этапе разработки проводятся исследования перспектив развития данного виде техники, анализ существующих аналогов, выбор прототипа, с целью определения схемных решений, осуществляется расчетное обоснование предлагаемых технических характеристик подъемно-транспортной машины. При этом автоматизация процессов

расчетного обоснования схемно-конструктивных решений подъемно-транспортной машины имеет неопределимое значение.

На предварительном (предэскизном) этапе проектирования подъемно-транспортных механизмов и машин определяется их структура, виды входящих в ее состав двигателей и механизмов, а также основные технические характеристики машины. При этом обосновываются основные принципы работы машины, которые в дальнейшем лягут в основу разрабатываемого технического предложения.

Ошибки на начальных этапах проектирования подъемно-транспортной машины приводят на последующих этапах к значительному удорожанию процесса ее создания и снижению эффективности данного устройства.

Практика показывает, что неправильные схемно-конструктивные технические решения и параметры подъемно-транспортной машины, определенные на начальных этапах проектирования приводят к удорожанию процесса разработки на 70...80 %.

2. Постановка задачи

На этапе предварительного (предэскизного) проектирования электромеханического привода подъемной платформы встают задачи по определению основных его характеристик. В частности, определения параметров рычажного механизма, зубчатого редуктора,

выбор электродвигателя, расчет кинематических и силовых характеристик, проведение динамического исследования привода.

В данной работе на основе исследования аналогов схемных решений подъемной платформы был выбран наиболее перспективный прототип, на основе которого и определена структура данной подъемной машины. Ее основные технические характеристики были определены с использованием автоматизированной системы расчетов – программы Mechanic [4-8], разработанной Лавровым В.Ю. в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова).

Программа Mechanic позволяет автоматизировать расчетные задачи, возникающих при проектировании различных механизмов и машин:

- структурный синтез рычажного механизма;
- кинематический и силовой анализ;
- расчет зубчатого механизма;
- формирование внешних нагрузок на рабочие органы;
- выбор электродвигателя;
- исследование динамики движения машины.

В общем виде структурная схема электромеханического привода подъемной платформы представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема электромеханического привода подъемной платформы

Далее будет рассматриваться только механическая часть привода подъемной платформы (без системы управления).

Более подробно схема электромеханической части подъемной платформы представлена на рис. 2.

Источником механической энергии в приводе подъемной платформы является асинхронный электрический двигатель, который через двухступенчатый зубчатый эвольвентный редуктор приводит в движение рычажный механизм ножничного типа. На его выходных звеньях закрепляется подъемная платформа (механизм и платформа на схеме условно повернуты на 90°).

Основными исходными данными для проектирования подъемной платформы являются следующие: масса поднимаемого груза – 1,2 т, максимальная высота подъема – 4,5 м, предельные габариты в горизонтальной плоскости – 3 × 2 м.

3. Практические исследования

В подъемной платформе главным является одностепенный семизвенный рычажный механизм ножничного типа, создающий основное движение в подъемной платформе [1-3, 9, 10]. Поэтому проектирование привода подъемной платформы начинается с него.

Программа Mechanic позволяет провести структурный синтез главного (рычажного) механизма, в ходе которого определяются основные параметры входного (первичного) механизма и входящих в рычажный механизм структурных групп (рис. 3).

В результате структурного синтеза рычажного механизма в электронном виде формируется его кинематическая схема с заданными размерами, массой и моментами инерции звеньев (рис. 4).

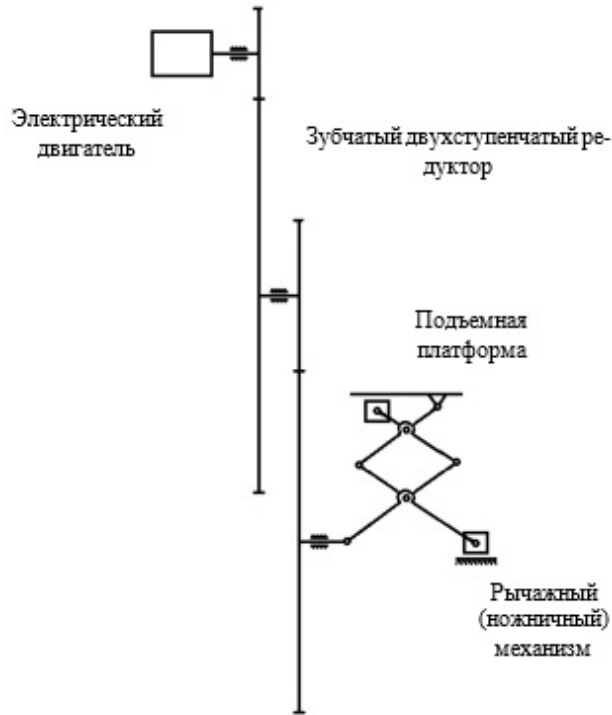


Рис. 2. Схема проектируемой подъемной платформы

Структурная группа Шатун-Ползун. В механизме имеет номер 2

Файлы Запомнить параметры Помощь Выход

Присоединение шарнира А:
 К входному кривошипу 1

Присоединение ползуна С:
 К входному кривошипу 1

Координаты шарнира А (X_A, Y_A) задаются в системе координат того звена, к которому присоединяется шарнир.
 Здесь X_1Y_1 - ЛСК 1-го звена диады,
 X_2Y_2 - ЛСК 2-го.
 φ_n - угол разворота оси ползуна от оси X_0 НСК,
 l_{nc} - сдвиг.

При необходимости на звеньях могут быть прорисованы дополнительные точки: D, E - на звене 1, F, G - на звене 2. Для задания их координат в ЛСК укажите количество дополнительных точек на звене. На схеме они показаны условно, их расположение на звеньях произвольно.

Длины $l_{11}, l_{13}, l_{21}, l_{23}, l_{nc}$ задаются со знаком. На схеме показаны положительные направления.

| | | | | |
|-----------------|--------------|----------------------|--------------|-------------------|
| $X_A = 3.4$ | $l_{11} = 0$ | $l_{12} = 2.28$ | $l_{13} = 0$ | $l_n = 0.15$ |
| $Y_A = 0$ | $l_{21} = 0$ | $l_{22} = 0$ | $l_{23} = 0$ | $d_n = 0.09$ |
| $X_{S1} = 1.14$ | $X_{S2} = 0$ | $l_{nc} = 4.0140845$ | | $\varphi_n = 135$ |
| $Y_{S1} = 0$ | $Y_{S2} = 0$ | | | |

Схема: Полная

Масса 1 = 183.4 кг Момент инерции 1 = 99.5 кг м²
 Масса 2 = 12.3 кг Момент инерции 2 = 0 кг м²

Количество доп. точек на звене 1: 0 Количество доп. точек на звене 2: 1
 (.)F прорисовывать: Треугольником

Вывести структуру присоединений

$X_F = 0$
 $Y_F = 0$

Рабочий орган (РО): точка F Рисунок ползуна: Типа пунсон

Рис. 3. Окно программы Mechanic с параметрами второй структурной группы рычажного механизма

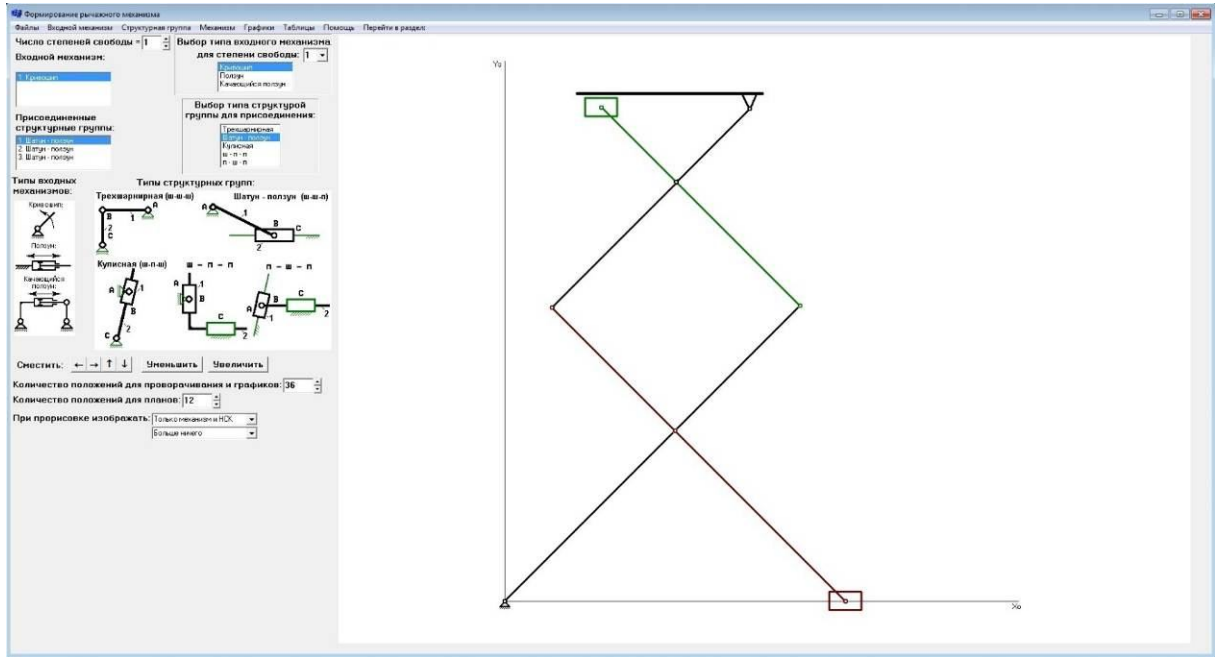


Рис. 4. Кинематическая схема сформированного рычажного механизма

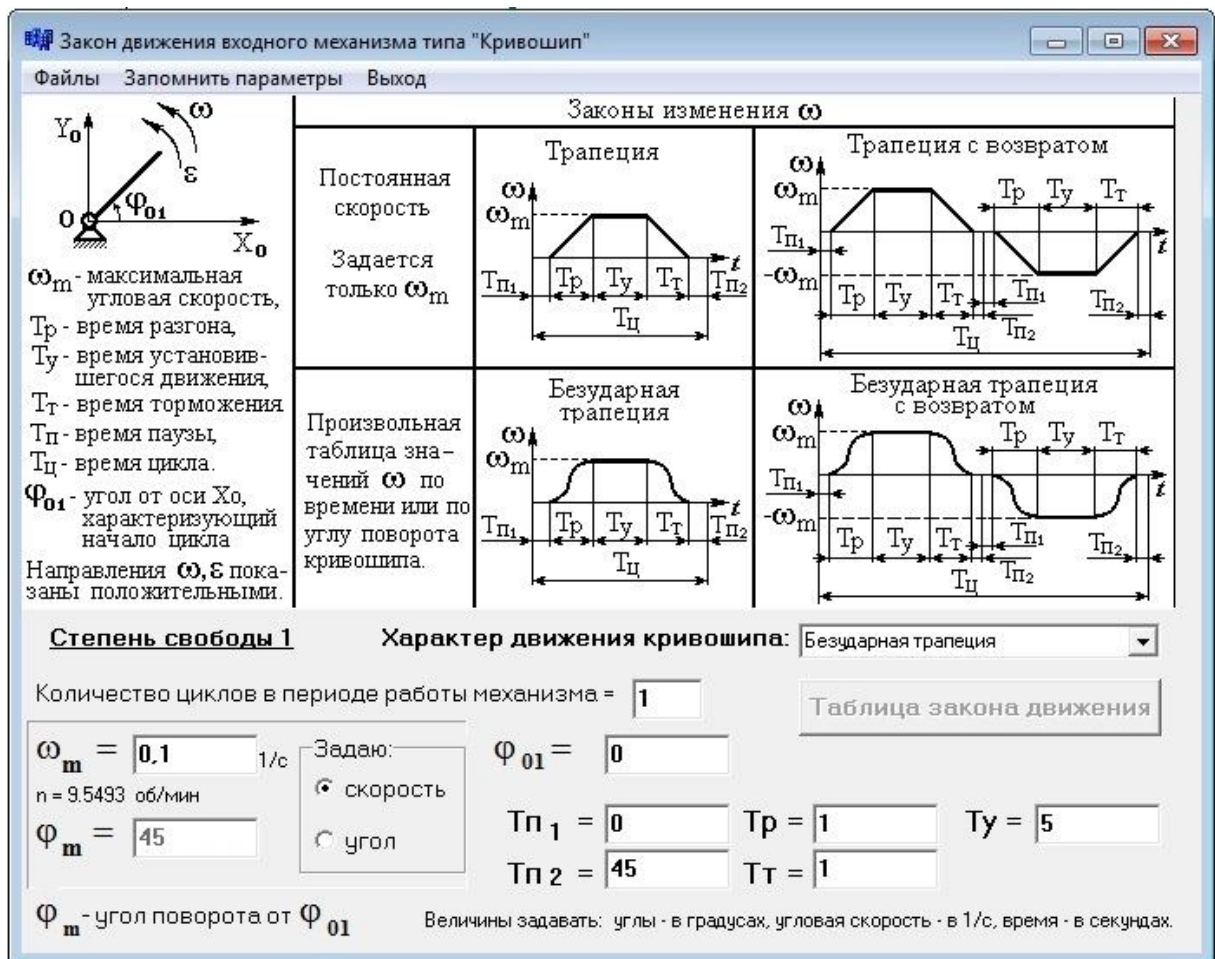


Рис. 5. Окно для задания закона движения входного звена

С целью дальнейшего проведения кинематического исследования рычажного механизма программа Mechanic позволяет за-

давать различные законы движения входного звена с учетом работы системы управления подъемной платформы (рис. 5).

Программа Mechanic позволяет прорисовать планы различных положений рычажного механизма, а также выставить его в любое произвольное положение в зависимости от обобщенной координаты (угла поворота входного звена).

Для сформированного рычажного механизма имеется возможность редактирования его характеристик на любом этапе проектирования.

Программа Mechanic дает возможность проведения кинематического исследования главного (рычажного) механизма с определением зависимостей для перемещений, скоростей и ускорений всех звеньев и произвольных точек рычажного механизма (рис. 6), а также позволяет определить крайние положения механизма.

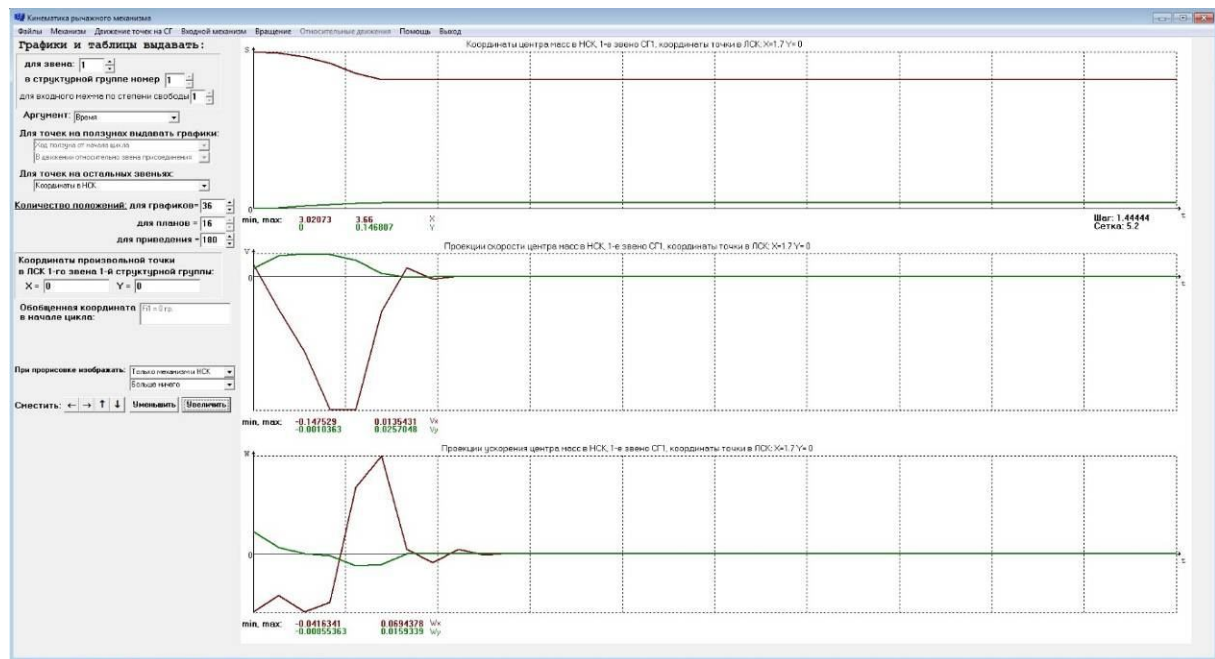


Рис. 6. Графики кинематических параметров движения центра масс первого звена первой структурной группы

При кинематическом анализе программа позволяет получать результаты как в виде графиков (рис. 6), так и в табличном виде.

Для дальнейшего проведения силового и динамического исследования работы подъемной платформы программа Mechanic позволяет получить зависимость для приведенного момента инерции рычажного механизма (рис. 7). Программа также позволяет получить результат расчета и табличном виде.

В программе Mechanic для проведения силового анализа рычажного механизма можно задавать различные виды нагрузок на рабочий орган (рис. 8).

При проектировании подъемной платформы нагрузка задается по типу «Станок» с

постоянной величиной силы веса поднимаемого груза.

Для проведения динамического исследования программа Mechanic обеспечивает расчет зависимости приведенного момента сил вредного сопротивления от угла поворота входного звена и определения минимальной потребной мощности электродвигателя. При этом сам выбираемый двигатель должен быть большей мощности с целью обеспечения некоторого запаса.

Программа Mechanic позволяет осуществить выбор асинхронного частотно-регулируемого электродвигателя из каталога (рис. 9).

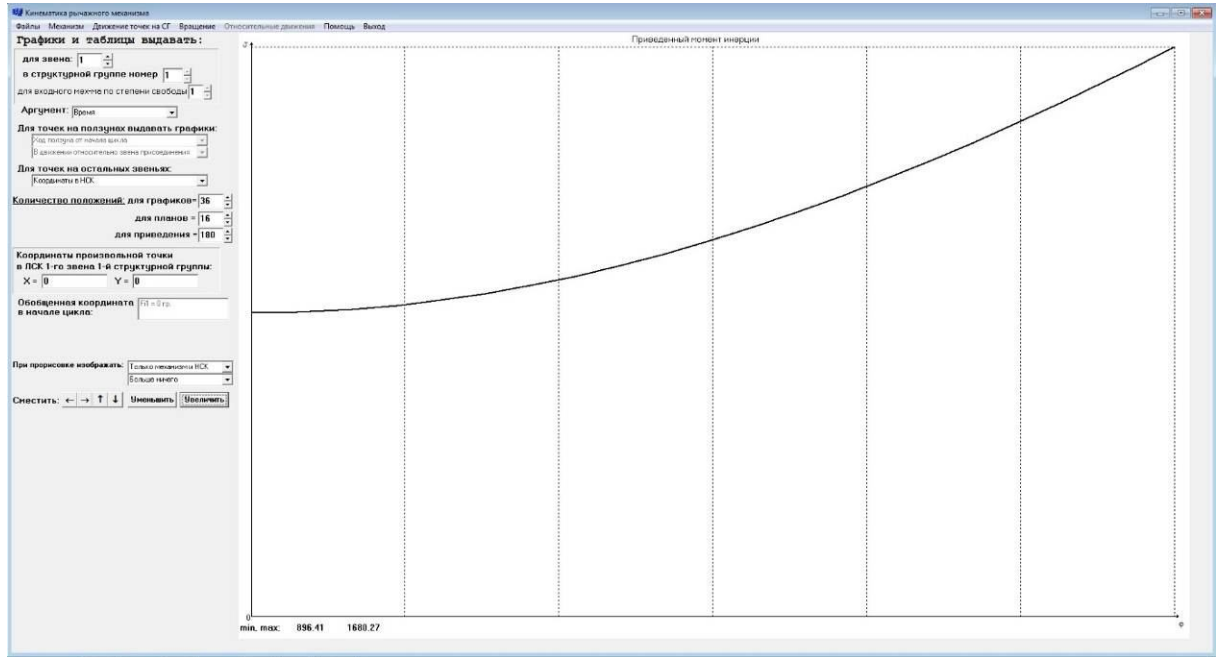


Рис. 7. График приведенного момента инерции рычажного механизма

1. Таблица по обобщенной координате

Пресс

Станок

Гидронасос

Гидромотор

Компрессор

Пневмодвигатель

s - ход ползуна,
F_T - технологическая сила,
K_p - показатель процесса (1,41 - адиабата, 1,1 ... 1,4 - политропа, 1 - изотема),
P_ц - давление в цилиндре.

S_p - рабочий ход,
S_{II} - полный ход,
S₀ - зона обработки.

У прессов и станков возможно **S_p = S₀**

Выбор - клик левой кнопкой мыши.

Запомнить
Выход

Рис. 8. Окно с вариантами выбора нагрузки на рабочий орган

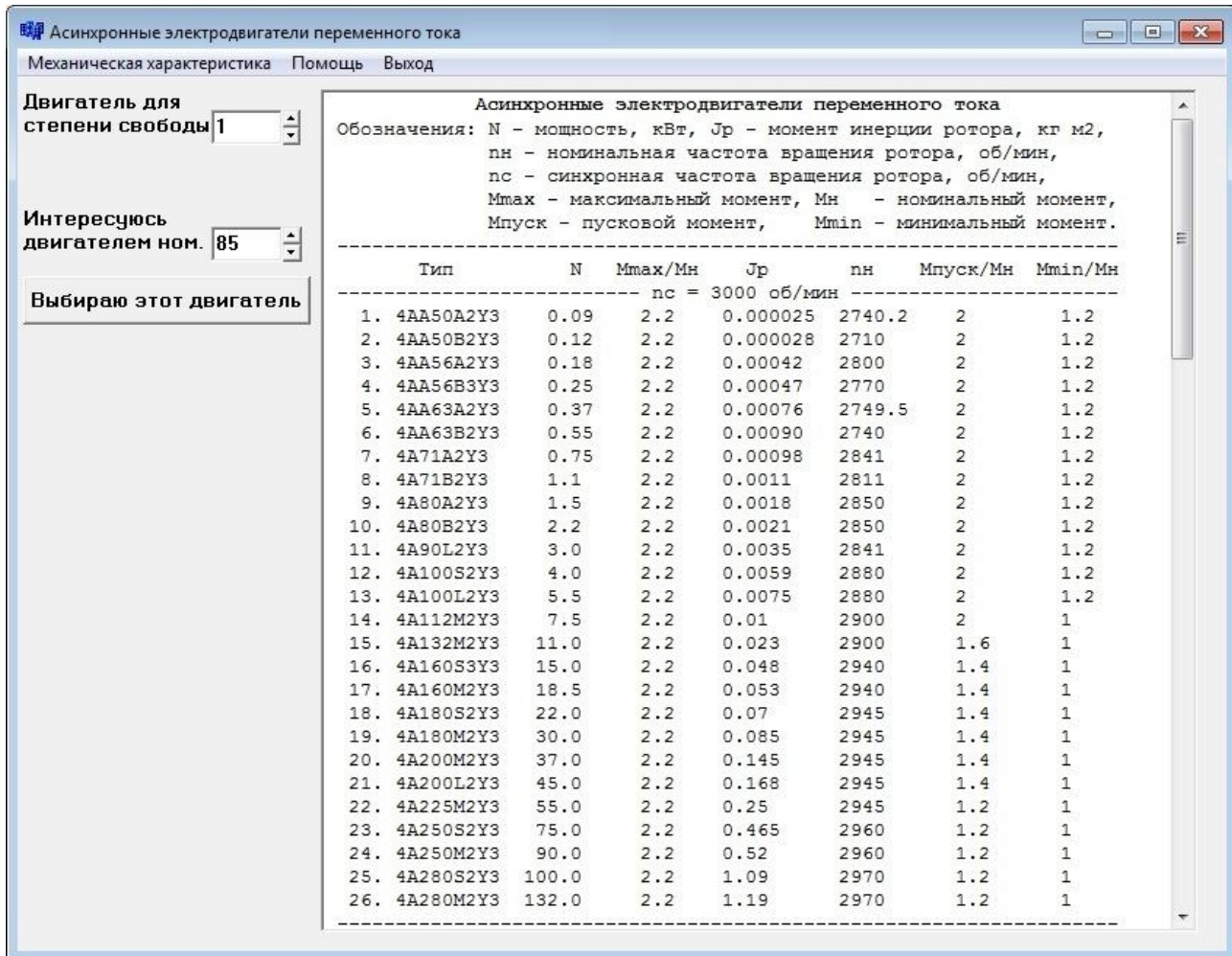


Рис. 9. Окно с каталогом асинхронных электродвигателей

В результате расчета определяется механическая характеристика и основные технические характеристики электродвигателя (рис. 10).

В соответствии с требуемым передаточным отношением выбирается двухступенчатый тип зубчатого механизма. После ввода основных исходных данных программа Mechanic определяет основные характеристики двухступенчатого эвольвентного косозубого зубчатого редуктора (рис. 11).

Программа Mechanic позволяет провести моделирование динамики движения входного звена рычажного механизма подъемной платформы с учетом действующих нагрузок для уточнения кинематических параметров движения звеньев рычажного механизма (рис. 12).

В результате проектирования получены следующие основные технические характеристики подъемной платформы:

- масса поднимаемого груза – 1,2 т;
- максимальная высота подъема – 4,5 м;
- габариты платформы в горизонтальной плоскости – $2,7 \times 1,8$ м;
- электродвигатель - асинхронный частотно-регулируемый мощностью 1,5 кВт;
- максимальный крутящий момент на валу электродвигателя – 34,78 Н·м;
- зубчатый механизм – двухступенчатый эвольвентный косозубый редуцирующий (общее передаточное отношение – 43,25, габаритные размеры системы зубчатых колес – $0,364 \times 0,273$ м), крутящий момент на входном звене - 1504,23 Н·м.

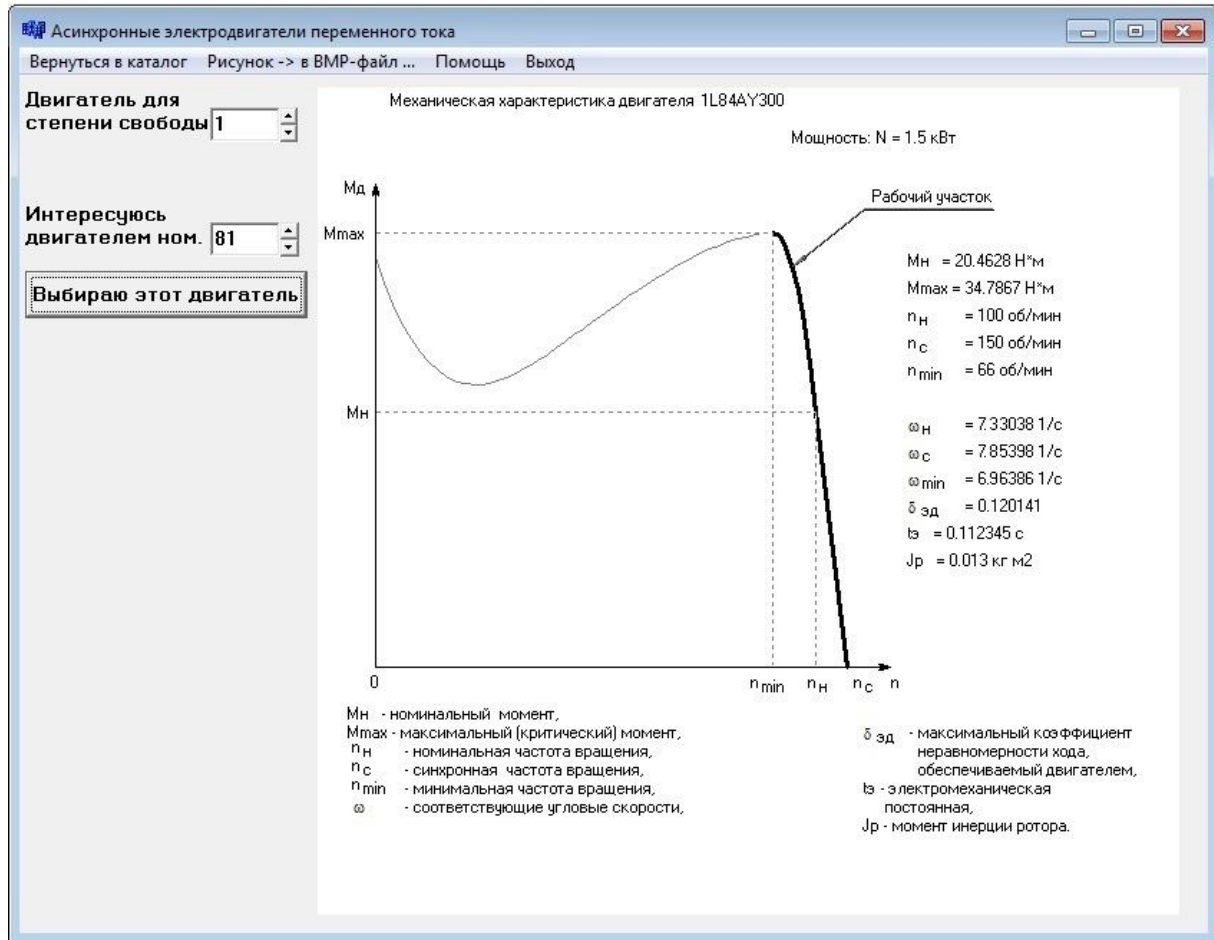


Рис. 10. Механическая характеристика электродвигателя

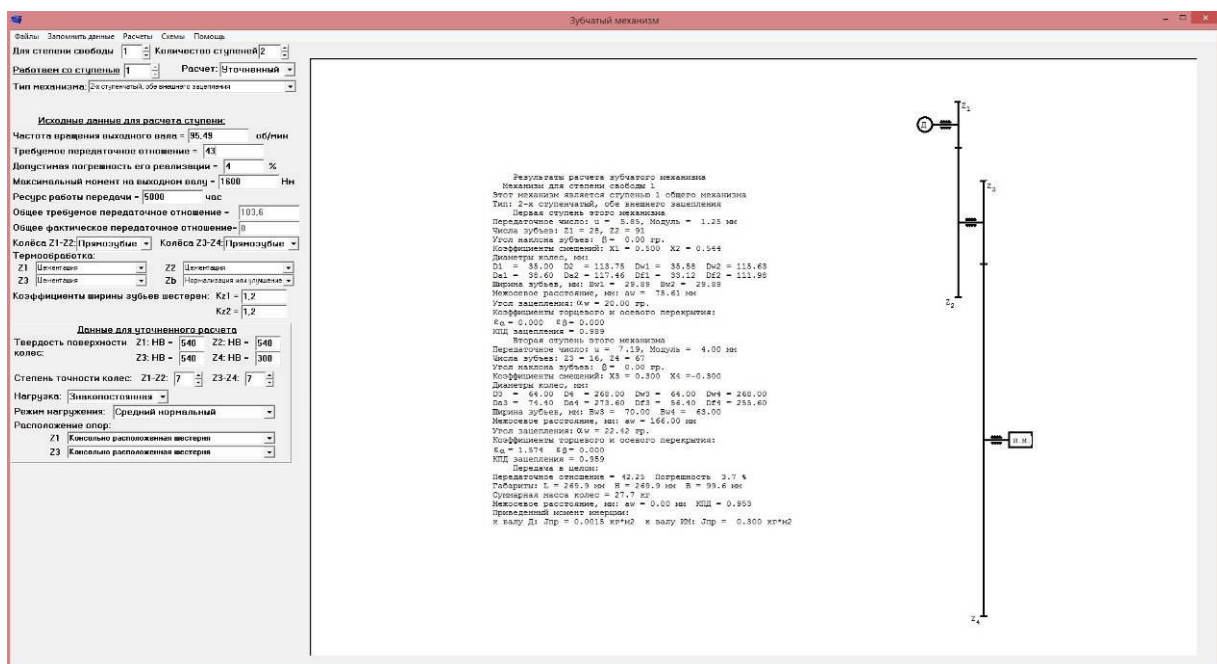


Рис. 11. Результаты расчета параметров зубчатого механизма

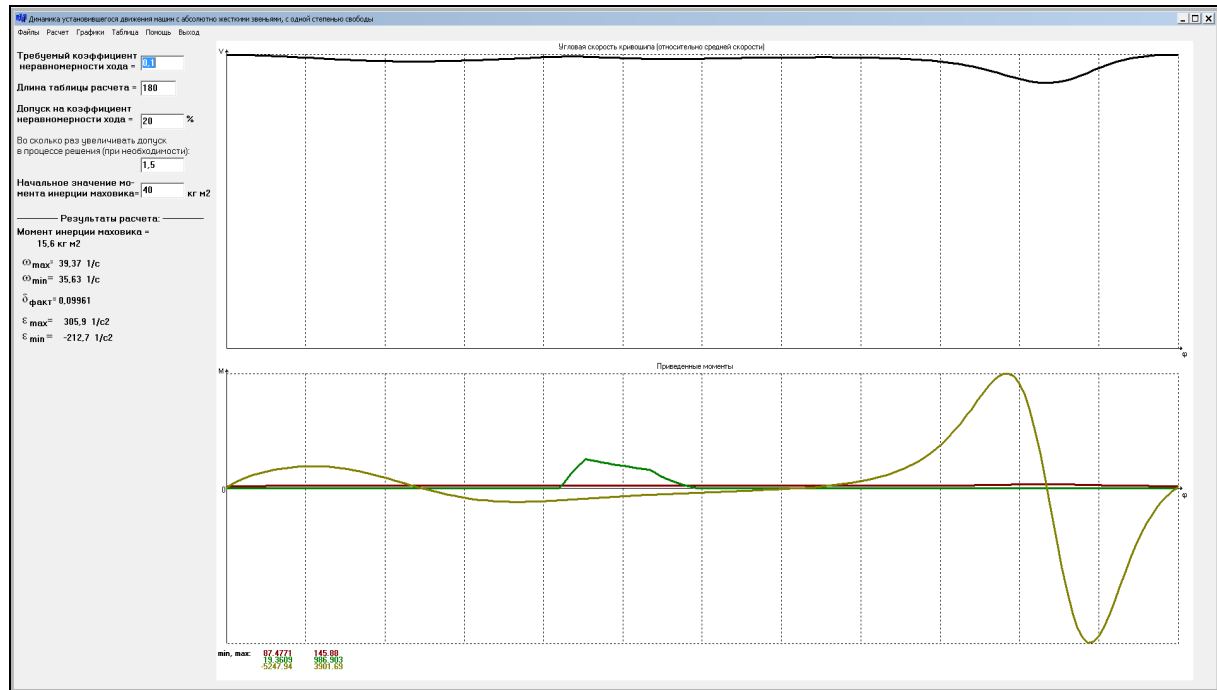


Рис. 12. Результаты динамического исследования движения рычажного механизма

4. Заключение

Использование программы Mechanic обеспечивает автоматизацию расчетов при проектировании подъемно-транспортных машин и входящих в их состав механизмов. Она позволяет проводить структурный синтез рычажных механизмов с определением их геометрических и массово-инерционных параметров, выбор электрических двигателей, расчет параметров различных зубчатых механизмов (ступенчатых и планетарных), а

также проводить исследование динамики работы машины.

При этом работа с использованием данного программного обеспечения не требует значительных ресурсов и особенных параметров персонального компьютера.

Таким образом, использование программы Mechanic может быть эффективно применено на начальных этапах проектирования подъемной платформы, а также различных подъемно-транспортных механизмов и машин.

Список литературы

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Альянс. 2016. 640 с.
2. Буланов Э.А. Детали машин. Расчет механических передач. М.: Юрайт. 2016. 202 с.
3. Жуков В.А., Михайлов Ю.К. Механика. Основы расчёта и проектирования деталей машин. СПб.: Питер. 2016. 636 с.
4. Копылов А.З., Тихомиров Г.И. Расчеты по ТММ в программе Mechanic. СПб.: ПГУПС. 2019. 36 с.
5. Лавров В.Ю. Курсовое проектирование по ТММ и механике машин в среде пакета ТММ_КР. СПб.: БГТУ. 1997. 148 с.

References

1. Artobolevsky I.I. Theory of mechanisms and machines. Moscow, Alliance., 2016. 640 p. (In Russian)
2. Bulanov E.A. Machine parts. Calculation of mechanical gears. Moscow, Yurayt, 2016. 202 p. (In Russian)
3. Zhukov V.A., Mikhailov Yu. K. Mechanics. Fundamentals of calculation and design of machine parts. SPb, Peter, 2016. 636 p. (In Russian)
4. Kopylov A.Z., Tikhomirov G.I. Calculations on TMM in the program Mechanic. SPb. PGUPS, 2019. 36 p. (In Russian)
5. Lavrov V.Y. Course design at TMM

6. Лавров В.Ю., Копылов А.З. Автоматизированное проектирование машин на ПЭВМ в среде Mechanic. СПб.: ПГУПС. 2014. 41 с.
7. Лавров В.Ю., Копылов А.З. Автоматизированное проектирование машин в среде Mechanic. СПб.: ПГУПС. 2014. 41 с.
8. Лавров В.Ю. Курсовое проектирование по теории машин и механизмов с помощью программы Mechanic. СПб.: БГТУ. 2015. 53 с.
9. Лавров В.Ю. Введение в теорию механизмов и машин. СПб.: БГТУ. 2016. 143 с.
10. Фролов К.В. Теория механизмов и механика машин. М.: МГТУ. 2012. 686 с.
- and mechanics of machines in the environment package TMCR. SPb, BSTU, 1997. 148 p. (In Russian)
6. Lavrov V.Yu., Kopylov A.Z. Computer-aided design of machines on PC in Mechanic environment. SPb, PGUPS, 2014. 41 p. (In Russian)
7. Lavrov V.Yu., Kopylov A.Z. Computer-aided design of machines on PC in Mechanic environment. SPb, PGUPS, 2014. 41 p. (In Russian)
8. Lavrov V.Yu. Course design on the theory of machines and mechanisms with the help of the program Mechanic. SPb, BSTU, 2015. 53 p. (In Russian)
9. Lavrov V.Yu. Introduction to the theory of mechanisms and machines. SPb, BSTU, 2016. 143 p. (In Russian)
10. Frolov K.V. Theory of mechanisms and mechanics of machines. Moscow, MGTU, 2012. 686 p. (In Russian)