

Дата **15.11.2022.** Группа: ХКМ 2/1. Курс второй. Семестр:3

Дисциплина: Техническая механика

Специальность: 15.02.06 «Монтаж и техническая эксплуатация холодильно-компрессорных машин и установок (по отраслям)»

Тема занятия: Основные понятия и аксиомы динамики

Цель занятия:

–*методическая*– совершенствование методики проведения лекционного занятия; сочетание инновационных методов обучения с традиционной методикой преподавания;

–*учебная*– дать представление студентам о кинематике; усвоение понятия о динамике;

–*воспитательная*– воспитывать культуру общения с использованием специальной терминологии, усидчивость, внимательность, графические и аналитические способности, чувство гордости за выбранную профессию.

Вид занятия: лекция

Междисциплинарные связи:

Обеспечивающие: Инженерная графика, Физика, Математика

Обеспечиваемые: Техническая механика, Детали машин, Курсовое и дипломное проектирование,

Рекомендуемая литература

Основная литература:

- 1.Никитин Е.М.Теоретическая механика для техникумов. М.: Высшая школа, 2014
- 2.Олофинская В.П. Техническая механика. Сборник тестовых заданий. – Москва, Форум, Инфра М, 2014.
3. Аркуша А.И. Техническая механика. – Москва, Высшая школа, 2013.

Дополнительная литература:

1. <https://www.youtube.com/watch?v=devt7u9CFRo> решение задач динамики

Тема: Основные понятия и аксиомы динамики

1. Основные понятия и аксиомы динамики.
2. Понятие о свободной и несвободной точке.
3. Понятие о силе инерции.
4. Особенности решения задач по динамике с несколькими телами

1. Основные понятия и аксиомы динамики

Динамикой называется раздел теоретической механики, изучающий зависимость между механическим движением тел и действующими на них силами.

Всякое механическое движение тела рассматривается в динамике в связи с физическими факторами, определяющими характер этого движения. В этом отличие динамики от кинематики, где движение рассматривается только с геометрической стороны.

Изучение динамики начинается обычно с изучения движения наиболее простого объекта — материальной точки.

Материальной точкой называется такое материальное тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи.

Напомним, что мы можем принимать за материальную точку не только тело исчезающе малых размеров, но иногда и тело конечных (и, может быть, весьма больших) размеров, если только в условиях данного исследования эти размеры не имеют значения. Например, при поступательном движении тела все его точки движутся, как мы знаем, одинаково, и для определения движения тела достаточно знать движение какой-либо одной его точки, в частности центра тяжести тела. В дальнейшем же будет доказано, что центр масс тела движется как материальная точка, в которой сосредоточена вся масса тела и к которой приложены все действующие на него силы. Поэтому *поступательно движущееся тело можно принимать в динамике за движущуюся материальную точку, имеющую массу, равную массе этого тела.*

В тех же случаях, когда размерами движущегося (не поступательно) тела пренебречь нельзя, мы можем мысленно разделить его на отдельные, малые сравнительно с расстояниями, играющими роль в данной задаче, части и принять их за материальные точки. Следовательно, всякое тело и любую

комбинацию связанных между собой тел можно рассматривать как совокупность материальных точек.

Мысленно выделенная совокупность взаимодействующих между собой материальных точек называется механической системой материальных точек или просто системой.

Абсолютно твердое тело можно также рассматривать как систему материальных точек, расстояния между которыми не изменяются ни при каких условиях, т. е. как неизменяемую систему.

Множество частных задач динамики можно свести к двум основным задачам.

Первая задача динамики. Известно движение данной материальной точки или данной системы. Требуется определить силы, действующие на эту точку или эту систему.

Вторая задача динамики (обратная первой). Известны силы, действующие на данную материальную точку или данную систему. Требуется определить движение этой точки или этой системы.

Для решения этих задач в динамике пользуются как установленными в статике способами сложения сил и приведения их систем к простейшему виду, так и принятыми в кинематике характеристиками и приемами описания различных движений. Однако для установления связи между движением материальных тел и факторами, определяющими его характер, этого недостаточно, и потому в динамике пользуются еще и рядом других физических понятий (масса, количество движения, работа, энергия и т. д.). Количественные соотношения между различными физическими величинами, связанными с механическим движением материальных тел, устанавливаются в динамике путем математических выводов из основных законов классической механики.

Эти законы служат фундаментом, на котором строится все содержание динамики, и потому с них мы и начнем изучение основ динамики.

Основные законы динамики

Первый закон (закон инерции). Этот закон уже рассматривался нами во введении в механику. Отметим только одно обстоятельство, имеющее важнейшее принципиальное значение для классической динамики.

Из кинематики мы знаем, что понятия движения и покоя являются относительными, что, относя одно и то же движение к различным системам отсчета, мы можем наблюдать совершенно различные движения. Так, например, тело, находящееся в покое на палубе речного парохода или движущееся по ней прямолинейно и равномерно, будет двигаться по отношению к берегам реки уже непрямолинейно и неравномерно при

изменении направления и модуля скорости парохода. В этом случае, применяя к наблюдаемым движениям данного тела закон инерции, наблюдатель, стоящий на палубе парохода, и наблюдатель, стоящий на берегу реки, сделают противоположные выводы. Первый — об уравниваемости сил, приложенных к данному телу, второй — об отсутствии равновесия.

Отсюда следует, что, применяя законы классической динамики, нужно прежде всего решить вопрос о том, для какой системы отсчета эти законы и, в частности, закон инерции применимы вообще.

Система отсчета, по отношению к которой выполняется закон инерции, называется основной или инерциальной системой, а движение, наблюдаемое по отношению к этой системе, называется абсолютным.

Предметом динамики служит связь между наблюдаемым движением тел и действующими на них силами, связь же эта зависит от выбора системы отсчета.

Можно найти такую систему отсчета, которая может быть принята практически за неподвижную для всех тел нашей Солнечной системы.

Если поместить начало координат в центре Солнца, точнее, в центре масс Солнечной системы, а координатные оси направить на какие-нибудь три «неподвижные» (называемые так в отличие от заметно движущихся планет нашей Солнечной системы) звезды, то получится система координат, называемая *гелиоцентрической*.

Опыт и наблюдения показывают, что для движений (со скоростями, значительно меньшими скорости света), отнесенных к гелиоцентрической системе координат, закон инерции выполняется с очень большой степенью точности, и потому такая система отсчета может быть принята за инерциальную.

Если материальная точка движется относительно инерциальной системы отсчета по инерции (т. е. прямолинейно и равномерно) с какой-либо абсолютной скоростью v , то таким же будет движение данной точки относительно любой другой системы отсчета, движущейся относительно инерциальной поступательно, прямолинейно и равномерно со скоростью $v_{\text{пер}}$.

Любая система отсчета, совершающая относительно инерциальной системы поступательное, прямолинейное и равномерное движение, будет также инерциальной системой. Всякая же система отсчета, движущаяся относительно инерциальной непрямолинейно или хотя бы и прямолинейно, но неравномерно, уже не будет инерциальной системой.

Так как Земля движется вокруг Солнца по некоторой криволинейной орбите, вращаясь при этом вокруг своей оси, то система отсчета, связанная с

Землей, не является инерциальной системой. Однако, вследствие малой кривизны земной орбиты и малой угловой скорости вращения Земли вокруг ее оси (один оборот за сутки), *в подавляющем большинстве задач динамики, с которыми приходится иметь дело в обычной технической практике, можно с вполне достаточной точностью считать инерциальной систему отсчета, неподвижную относительно Земли.*

Второй закон (основной закон динамики). Ускорение, сообщаемое материальной точке приложенной к ней силой, пропорционально модулю этой силы и совпадает с ней по направлению.

Необходимо иметь в виду, что формулировкой закона предполагается, что точка, к которой приложена данная сила, совершенно свободна, т. е. не встречает никаких препятствий своему движению ¹⁾).

Требуется подчеркнуть, что *с направлением силы всегда совпадает направление ускорения, а не направление самого движения* (направление скорости). Направление движения может и не совпадать с направлением приложенной к точке силы. Так, точка, брошенная в пустоте под углом к горизонту, движется при полете по кривой линии (параболе), все время изменяя направление своего движения, тогда как действующая на точку сила тяжести (и сообщаемое ею ускорение) всегда направлена по вертикали вниз.

Направление движения совпадает с направлением силы лишь в том случае, если она действует на свободную точку, находившуюся первоначально в покое. Если же точка уже находилась в движении, то сообщаемое данной силой ускорение лишь изменяет ее скорость, направление же скорости может при этом и не совпадать с направлением силы.

Из повседневного опыта известно, что одна и та же сила сообщает различным телам (даже если они одинаковы по форме и размерам, но различны по своему веществу) неодинаковые ускорения. Модули ускорений, приобретаемых различными телами, зависят, таким образом, не только от модулей действующих на них сил, но и от некоторого свойства самих тел. Это свойство тел характеризуется особой физической величиной, называемой массой.

По определению Ньютона, *массой тела называется количество вещества, содержащееся в этом теле.*

Сила тяжести однородного тела пропорциональна его объему, а следовательно, и количеству вещества, в нем содержащемуся. Сила тяжести, как известно, изменяется в зависимости от географической широты места.

Обозначая массу тела m , его силу тяжести G и ускорение свободно падающего тела g , имеем

$$m = G/g$$

Масса тела равна отношению его силы тяжести к ускорению его свободного падения.

Модуль силы, приложенной к материальной точке, равен произведению массы точки на модуль ее ускорения.

$$F = ma$$

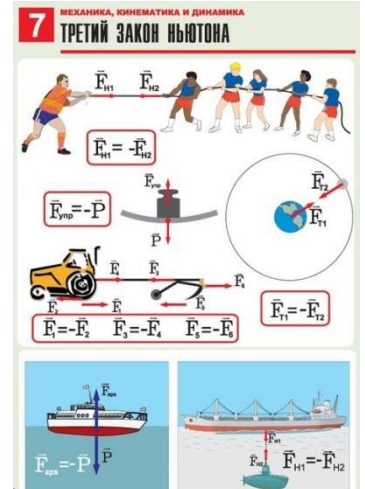
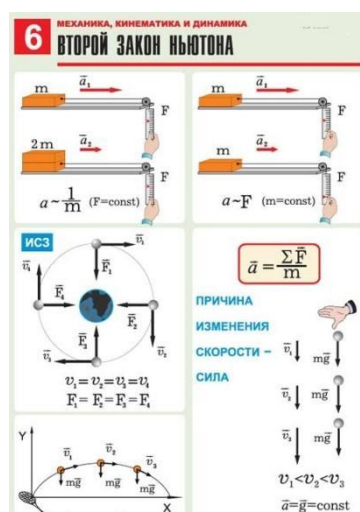
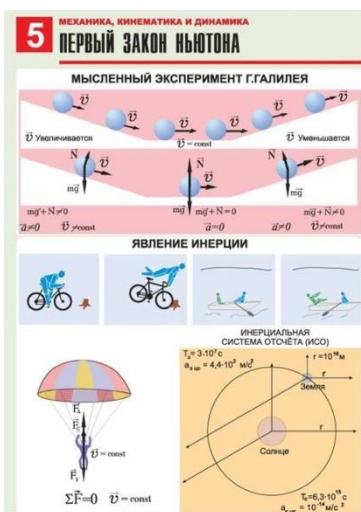
Равенство это дает динамический способ определения модуля силы.

В Международной системе единиц (СИ) за единицу массы принят 1 кг, т. е. масса международного прототипа килограмма, а сила, как известно, выражается в ньютонах. Из формулы следует, что $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$. Таким образом, ньютон — это сила, сообщаящая массе в 1 кг ускорение 1 м/с².

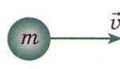
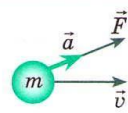
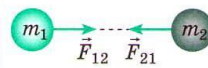
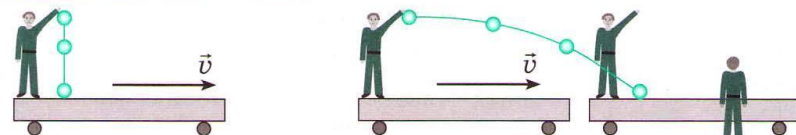
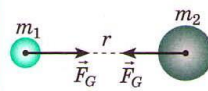
Под ускорением точки, входящим в основное уравнение динамики понимают абсолютное ускорение точки, т. е. ее ускорение относительно системы отсчета, принимаемой за инерциальную.

Третий закон (закон равенства действия и противодействия). Силы, с которыми действуют друг на друга две материальные точки, всегда равны по модулю и направлены по одной прямой (соединяющей данные точки) в противоположные стороны.

Четвертый закон (закон независимости действия сил). Ускорение, получаемое материальной точкой при одновременном действии на нее нескольких сил, равно геометрической сумме тех ускорений, которые получила бы эта точка под действием каждой из данных сил в отдельности.



ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ДИНАМИКИ

ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА	
Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными , относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела (или действия других тел компенсируются):	
если $\sum_{i=1}^N \vec{F}_i = \vec{0}$, то $\vec{v} = \text{const.}$	
ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА	
Сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на сообщаемое этой силой ускорение:	
$m\vec{a} = \vec{F}$, где $\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$.	
ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА	
Тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной и той же прямой, равными по модулю, противоположными по направлению:	
$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.	
ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ	
Все механические процессы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.	
	
ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ	
Сила взаимного притяжения двух тел прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:	
$F_G = \frac{Gm_1m_2}{r^2},$	
где $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ — гравитационная постоянная.	

2. Понятие о свободной и несвободной точке

В природе не бывает одностороннего действия сил. Если материальная точка массы m в результате взаимодействия с другими, окружающими ее телами, приобрела некоторое ускорение a , то к этим телам, согласно третьему основному закону механики, приложены со стороны точки силы противодействия. Геометрическая сумма этих сил, приложенных, вообще говоря, к различным телам, формально равна — ma , т. е. равна силе инерции точки. Только формально, так как сложение сил приложенных к различным телам физического смысла не имеет.

Реально существуют лишь составляющие этой силы, приложенные к тем телам, которые являются источником активных сил, действующих на движущуюся с ускорением материальную точку, и к связям, наложенным на точку. О силе инерции $F^u = -ma$ можно говорить как о реальной силе лишь в том случае, когда на точку действует только одно тело.

Рассмотрим такой пример. Рабочий катит перед собой по рельсам вагонетку, сообщая ей ускорение a . Для простоты считаем, что вагонетка движется по горизонтальному прямолинейному пути и никаких сопротивлений своему движению не встречает. Следовательно, источником силы, сообщаящей вагонетке ускорение a , является только рабочий. По основному закону динамики для сообщения вагонетке этого ускорения рабочий должен приложить к ней силу $F = ma$, где m — масса вагонетки.

Всякое действие одного тела на другое всегда сопровождается равным и противоположно направленным действием второго тела на первое. Следовательно, рабочий будет встречать со стороны вагонетки силу противодействия $F^u = -ma$, равную по модулю силе F давления рабочего на вагонетку и направленную в противоположную сторону, т. е. в сторону, противоположную ускорению. Очевидно, что сила F^u вагонетки приложена не к ней самой, а к руке рабочего (рис. 1).

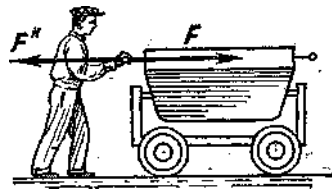


Рисунок 1

Мы знаем, что сохранение материальной точкой неизменной скорости при отсутствии действия на нее со стороны других тел или при их равновесии называется *инерцией точки*. Отсюда сила $F^u = -ma$, возникающая при изменении ее движения, и получила название «силы инерции» — название достаточно установившееся, но не вполне удачное, приводящее иногда к смешению понятий инерции и силы инерции.

Свойством инерции материальная точка обладает всегда, сила же инерции возникает только тогда, когда на нее действуют другие тела, вынуждающие точку изменить свое движение по инерции.

3. Понятие о силе инерции

В общем случае движения точки по криволинейной траектории ускорение точки

a , как мы знаем, удобно разлагать на две составляющие: касательное ускорение a_t , направленное по касательной к траектории движения, и нормальное ускорение a_n , направленное по нормали к центру кривизны траектории. Положим, что к свободной материальной точке M массы m , движущейся со скоростью v , приложена сила F , направление которой образует с направлением скорости v некоторый угол (рис. 201). Точка в этом случае будет двигаться по криволинейному пути с ускорением $a = F/m$, направленным одинаково с силой F . Разложим его на составляющие ускорения: касательное, численно равное $a_t = du/dt$ - производной от модуля скорости точки по времени, и нормальное, равное по модулю $a_n = v^2/p$, где p — радиус кривизны траектории в данном положении материальной точки.

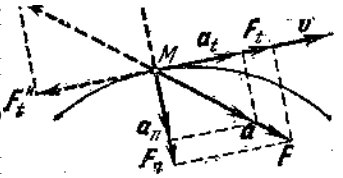


Рисунок 2

Очевидно, что при криволинейном движении точки приложенную к ней силу F можно разложить на две составляющие: касательную силу $F_t = -ma_t$, изменяющую модуль скорости точки, и нормальную силу $F_n^u = -ma_n$, изменяющую направление скорости точки.

При криволинейном движении точки ее силу инерции также можно разложить на две составляющие: касательную силу инерции $F_t^u = -ma_t$, направленную противоположно касательному ускорению точки, и нормальную силу инерции $F_n^u = -ma_n$, направленную противоположно нормальному ускорению точки.

Если точка M движется по криволинейной траектории равномерно, то $v = \text{const}$ и $a_t = dv/dt = 0$. В этом случае касательная сила инерции обращается в нуль и полная сила инерции состоит лишь из одной нормальной составляющей, равной по модулю

$$F^u = F_n^u = mv^2/p$$

Если точка M принадлежит телу, вращающемуся вокруг неподвижной оси, то, как известно из кинематики, ее касательное и нормальное ускорения могут быть вычислены по формулам $a_t = r\varepsilon$ и $a_n = rw^2$, где w и ε — угловая скорость и угловое ускорение вращения тела, а r — расстояние точки от оси вращения. Отсюда модули касательной и нормальной сил инерции могут быть вычислены по формулам

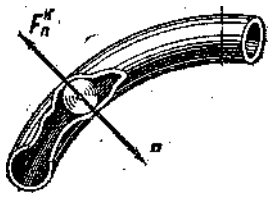
$$\begin{aligned} F_t^u &= mr\varepsilon, \\ F_n^u &= mrw^2 \end{aligned}$$

Если вращение тела равномерное, то $\varepsilon = 0$ и $F_t^u = 0$. В этом случае полная сила инерции численно равна

$$F^u = F_n^u = mr\omega^2$$

При несвободном криволинейном движении точки действующей на нее нормальной силой будет реакция связи, заставляющая точку отклоняться от прямолинейного пути и, следовательно, сообщаящая ей соответствующее нормальное ускорение. Силой же, действующей на связь, будет нормальная сила инерции данной точки.

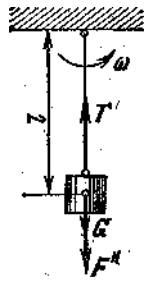
Положим, что в криволинейном желобе лежит шар (рис. 3). Если сообщить ему толчок в направлении оси желоба, то возникнут одновременно две силы: нормальная реакция стенок желоба на шар R_n и нормальная сила инерции F_n^u — давление шара на стенки желоба, направленная по той же нормали от центра. Если желоб взять резиновым, то действие нормальной силы инерции наглядно проявится выпучиванием при движении шара наружной поверхности желоба.



Подвешенное к нити тело (рис. 4) натягивает ее при покое с силой, равной по модулю силе тяжести G тела. Будучи же приведено в колебание, тело натягивает нить в момент ее перехода через вертикальное положение с силой T , равной по модулю

$$T = G + F^u = G + G/g \cdot r\omega^2$$

При быстром вращении центробежная сила инерции тела, приложенная к нити, осуществляющей связь, заставляющую тело совершать криволинейное движение, может настолько увеличить натяжение нити, что произойдет ее разрыв. В момент разрыва нити исчезнет реакция связи (сила T), приложенная к телу, так как исчезает связь, делавшая его движение несвободным; в тот же самый момент исчезнет и нормальная сила инерции, и тело будет перемещаться по касательной к окружности в той ее точке, в которой оно находилось в момент разрыва нити.



Аналогичным действием нормальной силы инерции объясняется и происходящий иногда разрыв маховиков при их очень быстром вращении. Если вся масса вращающегося тела распределена симметрично относительно его оси вращения, то нормальные силы инерции, развиваемые отдельными его частями, сказываются только в возникновении динамических напряжений (внутренних усилий) в материале тела. Эти динамические напряжения при больших скоростях могут достигать весьма больших значений, и с ними безусловно нужно считаться. Но если масса вращающегося тела распределена несимметрично относительно оси вращения, то нормальные

силы инерции отдельных частиц тела оказывают также еще и добавочное давление на подшипники, увеличивая трение в подшипниках и их износ. Вследствие вращения тела равнодействующая неуравновешенных сил инерции все время изменяет свое направление, а это ведет к нежелательной вибрации тела. Вопрос об уравнивании сил инерции имеет большое значение в современном машиностроении и рассматривается в теории механизмов и машин. При проектировании каждой новой машины необходимо учитывать силы инерции, которые могут возникнуть в ней при различных условиях работы.

4. Особенности решения задач по динамике

Задачи по динамике, как правило, решаются с применением законов Ньютона (чаще всего второго, реже третьего). Проще всего решать задания по динамике, придерживаясь следующего алгоритма:

1. Внимательное изучение условия задачи.
2. Определение известной и искомой величины.
3. Вынесение условий в столбец «Дано».
4. Схематичное изображение указанных в задании тел, анализ их взаимодействия.
5. Обозначение на рисунке векторов сил, которые действуют на каждое тело, указание направления векторов ускорения и перемещения.
6. Запись уравнения для определения равнодействующей силы в форме векторов.
7. Выбор направления осей координат в инерциальной системе отсчета (система, для которой верны законы Ньютона).
8. Определение проекций векторов на оси координат.
9. При необходимости запись дополнительных кинематических уравнений.
10. Решение полученных уравнений в общем виде.
11. Математические вычисления.
12. Проверка произведенного решения.

Задача. Сила 30 Н сообщает телу ускорение 0,4 м/с. Какая сила сообщит тому же телу ускорение 2 м/с² ?

Дано:

$$F_{1x} = 30 \text{ Н}$$

$$a_{1x} = 0,4 \text{ м/с}^2$$

$$a_{2x} = 2 \text{ м/с}^2$$

$$F_{2x} = ?$$

Решение:

1) Найдем массу тела, применив II закон для первого тела.

$$F_{1x} = ma_{1x}; \quad m = \frac{F_{1x}}{a_{1x}}$$

$$m = \frac{30}{0,4} = 75 \text{ (кг)}$$

2) Найдем силу F_{2x} , применив II закон для второго тела.

$$F_{2x} = ma_{2x} = 75 \cdot 2 = 150 \text{ (Н)}$$

Ответ: 150 Н

Контрольные вопросы

1. Что изучает динамика?
2. Перечислить основные законы динамики
3. В чем заключается суть второго закона динамики?
4. Что называется инерцией точки?

Задание для самостоятельной работы

1. Выписать основные понятия и формулы.
2. Вопрос №4 – записать алгоритм решения, посмотреть видео из списка дополнительной литературы
3. **Решить задачу.** Какое ускорение приобретет тело массой 500 г под действием силы 0,2 Н?
4. Письменно ответить на контрольные вопросы

Фотографию выполненной работы прислать в личном сообщении ВК <https://vk.com/id139705283>

На фотографии вверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, 15.11.2022, группа ХКМ 2/1, Техническая механика».