



ИСТОРИЯ ДВУХ ЗАДАЧ

«Гелиальная» задача

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ

В 90-х годах XX века в России широко внедрялись медицинские приборы на основе сверхпроводимости для высокоточного измерения флуктуаций магнитных и электрических полей в теле человека. Сверхпроводимость достигалась охлаждением электрических проводников до температуры жидкого гелия (-259°C). Один из таких приборов – магнитометр – достался и нашей научно-исследовательской лаборатории. Мы исследовали его как прототип на предмет создания промышленного образца отечественного производства.

Магнитометр представляет собой термос размером с человека (см. рис. 1.1). Он многослойный – внутри прочнейшего корпуса есть вспененный слой теплозащиты, вакуумное пространство, зеркальные экраны для отражения ИК-излучений и сама колба с жидким гелием.

Жидкий гелий стоит дорого. Поэтому перед тем как закачать его, термос в несколько итераций охлаждали жидким азотом (-196°C). И все равно такого охлаждения было недостаточно: когда мы заливали гелий в термос, он сильно испарялся и бурлил еще сутки. За это время внутренняя колба термоса охлаждалась до темпера-

туры жидкого гелия, и затем наступала стадия спокойного испарения. И только тогда можно было начинать эксперименты по измерению магнитного поля.

Мы провели испытания, и в целом магнитометр нас устроил. Кроме одной «мелочи» – были претензии к уровнемеру – электрическому прибору, который измерял уровень жидкого гелия и работал на принципе сверхпроводимости. Основным элементом уровнемера – сверхпроводник, который находится непосредственно в колбе с жидким гелием. Его общее сопротивление зависит от того, какая часть проводника погружена в жидкий гелий, а какая часть находится в газообразном гелии.

Уровнемер, как выяснилось, имел следующие недостатки:

- Точность измерения очень низка. Причем самую низкую точность измерения уровнемер давал, когда гелия оставалось меньше 15 процентов, – ему вообще нельзя было верить, а именно в это время нам нужны самые точные его показания.
- Уровнемер надо выключать, так как в активном режиме часть гелия испаряется – мы тратим часть дорогого гелия на то, чтобы измерить сколько его осталось!
- Стоил уровнемер несколько тысяч долларов. Мы же хотели производить аналогичный прибор со значительно меньшей себестоимостью.

Можно ли измерить уровень жидкого гелия другим способом? Поразмышляем...

По сути, термос – это черный ящик, куда нельзя заглянуть и категорически нельзя вводить посторонние вещества и энергию. Может

быть, термос можно взвешивать? Нет, затруднительно: вокруг термоса куча проводов, шлангов, трубочек – это все будет вносить искажения. Пока откладываем это решение и ищем еще.

В идеале гелий сам должен сообщать, сколько его осталось. Без посторонних устройств, без проводов и дополнительного испарения.

Я представил себе бутылку с жидкостью. Больше жидкости, меньше... И вдруг вспомнил, как в детстве пил лимонад прямо из бутылки и дул в горлышко, чтобы создать звук. Звук всегда был разным и зависел от количества лимонада: меньше лимонада – звук глухой, больше – звонкий. Вот и идея – надо каким-то образом дуть внутрь термоса через отверстие, из которого выходит газообразный гелий, и измерять частоту выходящего звука. А если не дуть, а использовать внутренние ресурсы, которые в системе уже есть? Точно! Гелий постоянно испаряется,

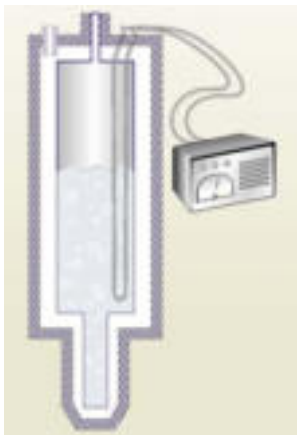


Рис. 1.1. Термос магнитометра.

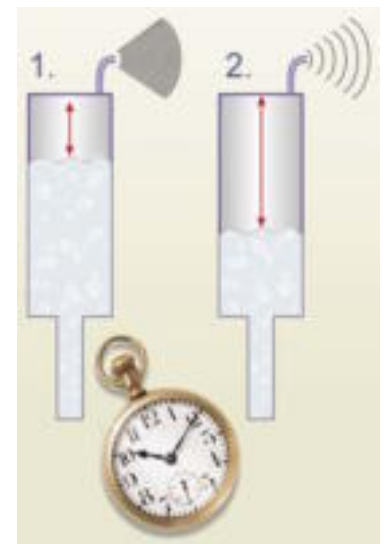


Рис. 1.2. Звук и гелий.

попросту говоря, кипит. Это значит, что шума в колбе с гелием предостаточно. И внутри колбы в замкнутом пространстве будет образовываться стоячая звуковая волна. Остается только поставить микрофон в струю выходящего гелия и построить график зависимости частоты звука от уровня гелия (см. рис. 1.2).

Я подошел к термосу, в котором оставалось немного жидкого гелия, чтобы продумать идею с микрофоном. И начал решать задачу, как защитить микрофон от холода. Но оказалось, что уже в 20 сантиметрах от выходного отверстия гелий не такой холодный. Я подставил руку под струю газа и понял: микрофон не понадобится – даже моя рука чувствовала пульсацию гелия. Я подсчитал: 80 ударов в минуту...

Потом сделал замеры в течение одного цикла – от полной колбы с жидким гелием до пустой – и построил график зависимости частоты пульсации газообразного гелия от уровня жидкого гелия (см. рис. 1.3). Кстати, уровень жидкого гелия мне пришлось измерять с помощью того самого дорогого уровнемера, который так и внес свою погрешность в мой график. Но это оказалось не принципиально: нам нужно знать уровень жидкого гелия только для того, чтобы понимать, когда он закончится, а такую информацию мой график дает безусловно. Дело сделано!

Результат:

- Точность измерения нас устраивает, и она постоянна на всех стадиях испарения гелия.
- Наш «измеритель» не нагревает колбу, а значит, дорогой гелий дополнительно не испаряется.
- Новое устройство стоит \$ 0 – достаточно иметь на руках часы с секундной стрелкой.

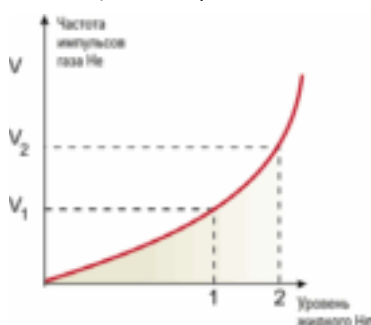


Рис. 1.3. График колебаний газа.

В сто раз легче, в сто раз быстрее

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОРСОВОГО ПОКРЫТИЯ

Повысить на 10 процентов производительность устройства для создания ворсового покрытия (см. рис. 2.1) – такое задание на курсовую работу я получил, когда был студентом IV курса Ленинградского механического института.

А в чем проблема? Повысить скорость вращения стола? Нет, не получается – массы переменные, система очень тяжелая – балансировке не поддается. Повышаем скорость вращения – станок начинает сильно вибрировать. От этого разбивается само устройство, ворс получается бракованный, рвутся полимерные нити. Получается, что при всех своих больших габаритах и массе устройство очень нежное...

Есть другой путь – это уменьшение размеров, а значит, и массы самих катушек. Но это уменьшит производительность – катушки придется чаще менять, останавливая станок. К тому же, как оказалось, катушки с полимерными нитями поставлялись только одного типоразмера...

Как раз в это время я только что познакомился с ТРИЗ по книге Г. С. Альтшуллера «Найти идею». Уже с помощью самых простых инструментов ТРИЗ я быстро нашел идею, как повысить производительность станка не на 10 процентов, а в 4 раза!

Понятно, что надо уменьшить момент инерции стола с катушками и тогда можно будет увеличить скорость вращения. Для этого нужно приблизить катушки к оси вращения. Но это уже сделали до меня и «выжали» систему до предела – дальше сближать уже некуда. Уперлись в противоречие: приближаясь к оси вращения, катушки начинают мешать друг другу – им просто становится тесно. Разрешаем противоречие выходом из плоскости в объем – размещаем катушки на столе в несколько уровней (см. рис. 2.3), они станут в два раза ближе к оси вращения. Не уменьшая общей массы катушек, мы в четыре раза

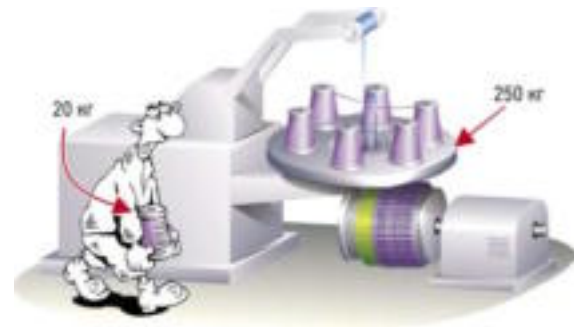


Рис. 2.1. Общий вид устройства.

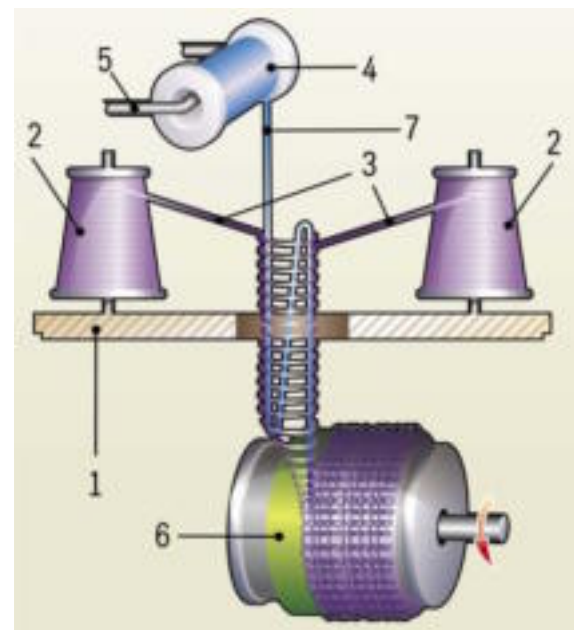


Рис. 2.2. Принцип действия устройства.

Все устройство расположено на токарном станке. Станок вращает стол (1), на котором расположены катушки (2) с полимерной нитью (3) – от шести до двенадцати штук. В центре стола – отверстие. Сквозь это отверстие со шпульки (4), которая закреплена на кронштейне (5), сматывается на оправку (6) транспортная нить (7). Она образует зигзаг – нитевой транспортер, на который и наматываются нити с катушек. А так как транспортная нить движется, получается плоская «пружинка» из полимерных нитей. Эта «пружинка» и приклеивается на клейкую основу тканевого материала, который закреплен на оправке. Оправка тоже медленно вращается, постепенно сматывая на себя транспортную нить вместе с «пружинкой». Ворсовое покрытие – пушистый ковер из «пружинок» – готово.

уменьшаем момент инерции. А значит, во столько же раз увеличиваем скорость вращения.

Но это решение я сразу отложил – меня манил идеальный конечный результат (ИКР). Я сформулировал его таким образом: в идеале мы не вращаем тяжелые катушки с нитями – они стоят на полу, а вращаются только нити. Вот идеал – момент инерции, который равен нулю. Представляете, как изменится наш станок, когда мы вместо 100 килограммов катушек



Рис. 2.3. Из плоскости – в объем.

будем вращать лишь пучок почти невесомых нитей?!

Очень красивая идея, но реализовать ее невозможно. Наверно, поэтому и крутились катушки десятки лет без существенных изменений...

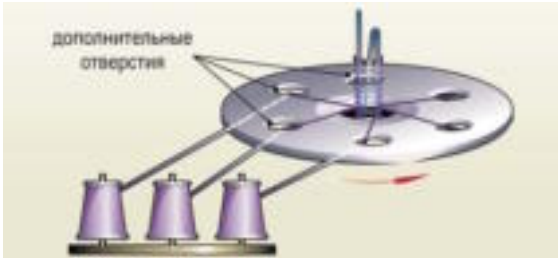


Рис. 2.4. Мысленный эксперимент.

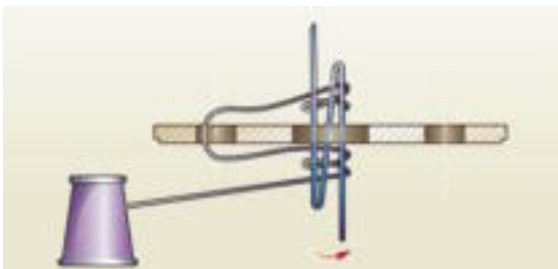


Рис. 2.5. Нежелательное наматывание под столом.



Рис. 2.6. Нити, проходящие сквозь кронштейн.

Попробуйте сделать мысленный эксперимент. Оставьте катушки на полу, а нити пропустите через дополнительные отверстия в столе (см. рис. 2.4). И вы увидите, что нити с катушек наматываются на нитевой транспортер не один раз – над столом, а еще и снизу стола (см. рис. 2.5). Устройство остановится через пару оборотов.

Я продолжал думать, пытаюсь избежать одного из двух наматываний.

Нижнее наматывание можно устранить, если нить, идущая от катушек, будет каким-то чудесным образом целиком огибать оправку (вместе с двигателем и т. п.) и... прорезать место соединения двигателя с полом (получается, что двигатель должен висеть в воздухе). Верхнее наматывание можно устранить, если нить от катушек будет огибать шпульку и... прорезать кронштейн, который крепится к станку и держит эту самую шпульку (т. е. шпулька должна висеть в воздухе). Все – приехали. Как быть с этими самими «прорезать»?

Я увидел ИКР, а вот существует ли он в жизни? Может, это лишь фантастика, и в природе нет такого решения, а я просто зря «плавлю» свои мозги и трачу время? Биться или не биться? Вот в чем вопрос. И никто не подскажет – ведь это не учебная задача. Но уж больно высоки были дивиденды в случае идеального решения, был стимул, и я стоял насмерть.

Мне повезло: самая трудная изобретательская задача в моей жизни оказалась и самой первой – это нужно, чтобы импринтировать смелость в решении задач. Это я понял, когда начал преподавать школьникам уроки ТРИЗ (см. статью «Сделай себе «извилину» на с. 80).

Я сформулировал главное противоречие задачи: кронштейн должен быть, чтобы держать шпульку, и кронштейн не должно быть, чтобы пропускать нить.

Ответ появился, когда я начал мысленно рассекать кронштейн нитью поперек. Стоп! А почему поперек? Я чуть наклонил нить, еще наклонил, и уже не поперек кронштейна, а параллельно. Есть решение – труба. Нить всегда может проходить сквозь крон-

штейн, если этот кронштейн сделан в виде трубы, а нить проходит внутри трубы (см. рис. 2.6).

Самое трудное позади. Осталось решить конструкторские задачи (см. рис. 2.7). Кронштейн «слился» со столом, который тоже превратился в трубу. Этот стол-кронштейн размером со спичечный коробок в свою очередь держит шпульку с нитевым транспортером. Нитевой транспортер, закрепленный на вращающемся столе, сам вращаться не должен, поэтому его попеременно в противофазе фиксируют два подвижных фиксатора.

Итог:

- Производительность увеличилась в сто раз (если раньше скорость вращения стола была 15 об/мин, то теперь – до 1500 об/мин).
- Габариты и масса устройства уменьшились в десятки раз, следовательно, «токарный» станок стал уже не нужен. Вращать стол-кронштейн с легкими нитями сможет небольшой электромотор.
- Сверхэффект – катушек может быть не 12, а намного больше.

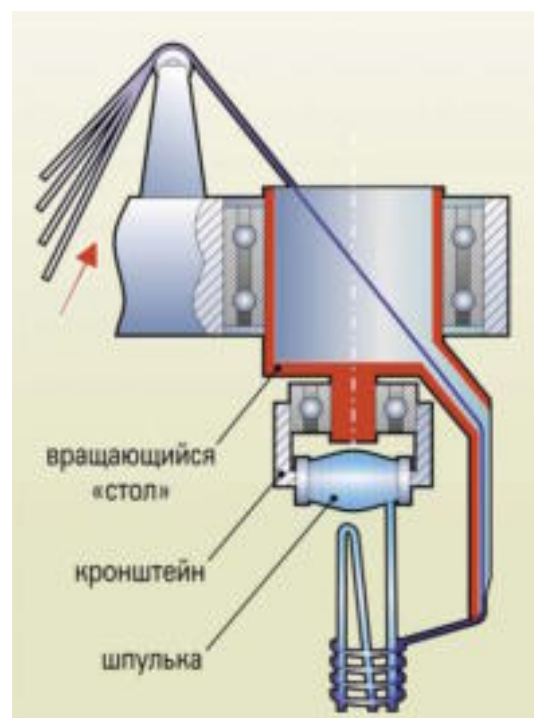


Рис. 2.7. Новое устройство.