

В. Горячкин

**Основы построения
сельскохозяйственных
машин и орудий. Силы
инерции и их
уравновешивание**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 631
ББК 4
В11

В11 **В. Горячкин**
Основы построения сельскохозяйственных машин и орудий. Силы инерции и их уравнивание / В. Горячкин – М.: Книга по Требованию, 2015. – 166 с.

ISBN 978-5-458-60541-0

Выпуск 3

ISBN 978-5-458-60541-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2015

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2015

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



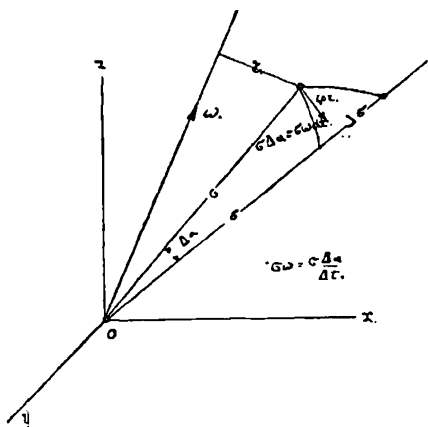
Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Слѣд. моментъ силы есть скорость измѣненія вектора σ . Эти формулы имѣютъ непосредственное примѣненіе только въ простѣйшемъ случаѣ, когда твердое тѣло вращается около неподвижной и при томъ главной оси.

Если же тѣло свободно, то ось вращенія тѣла можетъ мѣняться, и ур—ія усложняются.

Въ конечномъ видѣ задача о вращеніи тѣла не рѣшена за исключеніемъ нѣкоторыхъ частныхъ случаевъ, а именно: 1) тѣло какое угодно, но центръ тяжести въ неподвижной точкѣ (случай Эйлера и Пуансо), 2) эллипсоидъ инерціи, относящійся къ неподвижной точкѣ, есть эллипсоидъ вращенія, а центръ тяжести лежитъ на оси вращенія (случай Лагранжа и Пуассона), 3) тоже, когда центръ тяжести находится въ плоскости экватора (случай С. Ковалевской).



Черт. 1.

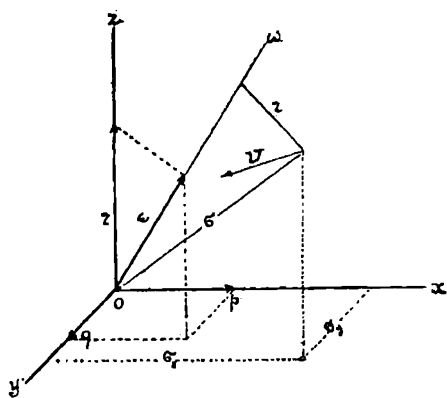
Когда тѣло вращается около своего центра по инерціи, векторъ σ (моментъ количества движенія) остается постояннымъ подобно тому, какъ при поступательномъ движеніи по инерціи остается постояннымъ количество движенія.

Если же тѣло вращается около центра тяжести подѣйствіемъ внѣшнихъ силъ, то векторъ σ мѣняется по величинѣ (въ относительномъ движеніи) и направленію (въ переносномъ) (черт. 1 и 2). Пусть тѣло неизмѣнно соединено съ осями $Oxyz$, а координаты конца вектора σ — σ_x , σ_y , σ_z . Слѣд. съ измѣненіемъ времени на Δt , векторъ σ мѣняется по величинѣ въ единицу времени, въ проекціяхъ на оси $Oxyz$, на

$$\frac{d\sigma_x}{dt}, \frac{d\sigma_y}{dt}, \frac{d\sigma_z}{dt}$$

Кромѣ того векторъ σ вращается вмѣстѣ съ осями $Oxyz$ около неподвижныхъ осей $O\xi\eta\zeta$ съ угловой скоростью ω .

Между тѣмъ извѣстно, что абсолютная скорость вращенія $V = \omega r$ к. н. точки тѣла около мгновенной оси есть мо-



Черт. 2.

ментъ вектора ω относительно V (черт. 1), а проекція ея на подвижныя, неизмѣнно соединенныя съ тѣломъ, оси $Oxyz$ равны
 $v_x = qz - ry$, $v_y = rx - pz$,
 $v_z = py - qx$.

Поэтому скорость измѣненія конца вектора σ съ координатами $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ въ проекціяхъ на оси координатъ равна

$$\begin{aligned} q\sigma_z - r\sigma_y \\ r\sigma_x - p\sigma_z \\ p\sigma_y - q\sigma_x \end{aligned}$$

А моментъ силъ, необходимый для измѣненія вектора σ , по величинѣ и направленію, будетъ

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{d\sigma_x}{dt} + q\sigma_z - r\sigma_y \\ M_y &= \frac{d\sigma_y}{dt} + r\sigma_x - p\sigma_z \\ M_z &= \frac{d\sigma_z}{dt} + p\sigma_y - q\sigma_x. \end{aligned}$$

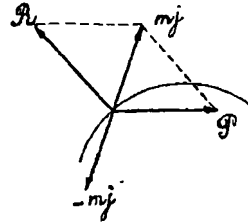
О силахъ инерціи вообще.

Прежде всего необходимо замѣтить, что скорость какой-либо движущейся точки всегда направлена по касательнѣ къ траекторіи и характеризуетъ такимъ образомъ направленіе движенія точки, а ускореніе ея служитъ проявленіемъ дѣйствія силы и направлено по равнодѣйствующей силѣ, получаемой отъ сложенія дѣйствующей силы P (черт. 3) и силы реакціи R (начало Д'Аламбера).

Чтобы сообщить массѣ m по горизонтальному направленію ускореніе, по величинѣ равное ускоренію силы тяжести, нужно приложить силу, равную вѣсу тѣла. При меньшемъ или большемъ ускореніи сила измѣняется пропорціонально. Если напр. принять, что вѣсъ плуга въ 3 раза менѣе силы

тяги, то сила тяги способна сообщить плугу ускореніе въ 3 раза болѣе ускоренія силы тяжести.

Силой инерціи называется та сила, съ которой точка сопротивляется измѣненію своей скорости по величинѣ и направленію, и слѣд. измѣняется произведеніемъ массы на ускореніе— mj , а по направленію обратна ускоренію j точки. Эта сила, по началу D'Alembert, уравниваетъ движущую силу вмѣстѣ съ силой сопротивленія.

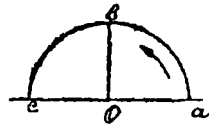


Черт. 3.

Сила инерціи является въ динамикѣ силой реакціи самаго тѣла, сопротивляющагося измѣненію покоя или равномернаго движенія подобно тому, какъ въ статикѣ опора не развиваетъ реакціи, пока нѣтъ активной силы.

При ускоренномъ движеніи сила инерціи направлена въ обратную сторону отъ направленія движенія, а при замедленномъ дѣйствуетъ по направленію движенія.

Другими словами, та часть движущей силы, которая идетъ на ускореніе массы точки, уменьшаетъ (при ускоренномъ движеніи) или увеличиваетъ (при замедленномъ) дѣйствіе силы. Такъ напр. въ косилкѣ сила на пальцѣ кривошина расходуется прежде всего на ускореніе шатуна и ножа, а затѣмъ остатокъ ея идетъ на работу рѣзанія и тренія. Въ первую половину хода шатуна (черт. 4) при поворотѣ пальца на ab (приблизительно) движущая сила дѣйствуетъ силъ инерціи шатуна и ножа ослабляется, а во вторую отъ b къ c наоборотъ вновь пополняется.

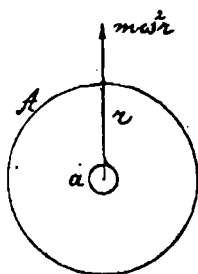


Черт. 4.

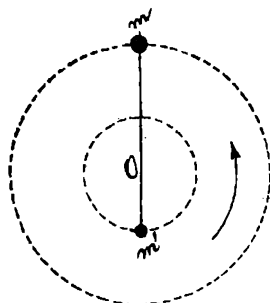
Но кромѣ того дѣйствіе силъ инерціи проявляется не только въ періодическомъ увеличеніи и уменьшеніи затраты усилія на движеніе механизма, но отражается на рамѣ, внутри которой происходитъ движеніе механизма.

Всякій механизмъ въ общемъ случаѣ состоитъ изъ частей, имѣющихъ частью вращательное, частью поступательное движеніе. При вращеніи какой-либо точки m (черт. 5) съ угловой скоростью ω на разстояніи r (въ случаѣ сплошнаго тѣла подъ r надо разумѣть разстояніе центра тяжести его отъ оси вращенія) развивается инерціонная, центробѣжная сила въ противовѣсъ центростремительной силѣ, которая необходима

для совращения точки m съ прямолинейнаго пути. Центробѣжная сила, дѣйствуя на ось вращения, можетъ заставитьъ ее описывать нѣкоторую окружность a , если ось недостаточно прочно укрѣплена.



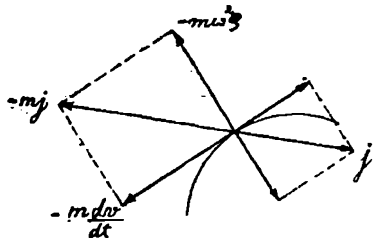
Черт. 5.



Черт. 6.

При внутреннихъ силахъ (взаимнаго тяготѣнія) двѣ массы кружатся около центра (черт. 6) тяжести массъ, подобно тому, какъ это происходитъ при вращеніи груза на веревкѣ рукой, которая также описываетъ нѣкоторую окружность.

Если масса m перемѣщается вообще по нѣкоторой кривой (черт. 7), то работа силъ инерціи опредѣляется только тангенціальнымъ ускореніемъ, такъ какъ центростремительное



Черт. 7.

⊥-но къ пути и потому работы измѣнить не можетъ. Слѣд. въ этомъ случаѣ, казалось бы, необходимо считаться только съ неравномерностью движенія.

Заставимъ нѣкоторую массу m совершать равномерное вращательное движеніе вокругъ нѣкоторой точки O . Такое движеніе можетъ сохраняться по

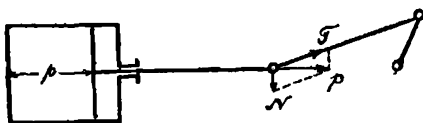
инерціи, т. к. необходимое для этого ускореніе (центростремительное) ⊥-но къ пути. Но инерціонная сила (центробѣжная) все-таки можетъ работать по радіальному направленію. Такъ, если масса m будетъ привязана нитью къ палкѣ, которая сравнительно слабо воткнута въ землю, то дѣйствіемъ центробѣжной силы вокругъ O образуется воронка и постепенно вся энергія израсходуется на ея расширенія.

Въ чистомъ видѣ вращеніе массы m можетъ сохраниться только въ томъ случаѣ, если массу m уравнивають другой массой m' . Тогда обѣ массы будутъ описывать окружности вокругъ общаго центра тяжести O , и работоспособность массъ m и m' не будетъ уменьшаться. Такимъ образомъ вращающіяся части легко могутъ быть уравниваемы (при помощи противовѣсовъ).

Части механизма, имѣющія поступательныя перемѣщенія, мѣняють свой центръ тяжести. Между тѣмъ извѣстно, что внутренними силами (а къ таковымъ можно свести движущія силы механизма, напр. сила пара въ паровой машинѣ давить съ одной стороны на поршень, а съ другой стороны на цилиндръ и станину, сила на пальцѣ кривошипа движеть шатунъ и ножъ въ косилкѣ, а съ другой передается на валъ пальца и на раму), общій центръ тяжести (механизма и станины) сдвинуть бытъ не можетъ. Поэтому всякое поступательное перемѣщеніе какой-либо части механизма вызоветъ соотвѣтствующее перемѣщеніе станины въ обратную сторону, такъ что общій центръ тяжести останется неподвижнымъ. Если станина совершенно жестка и идеально прочно скрѣплена съ землей, то движеніе механизма вызоветъ перемѣщеніе всей земли, но благодаря громадной массѣ земли это перемѣщеніе будетъ безконечно мало, вмѣсто того дѣйствіемъ перемѣщенія механизма въ станинѣ будутъ вызваны упругія перемѣщенія, которыя будутъ безвредны только въ узкихъ предѣлахъ упругости ея, а въ случаѣ резонанса (совпаденія періода колебаній) могутъ сдѣлаться разрушительно велики и обнаруживаться въ видѣ провала мостовъ, обрушенія зданій, схода паровоза съ рельсъ, невыносимаго дрожанія корпуса парохода и т. д. отъ ничтожныхъ причинъ, напр. отъ колебательнаго движенія шатуновъ паровой машины и другихъ частей. Наконецъ, если станина вовсе не можетъ быть закрѣплена какъ напр. у косилки, то колебанія ея частью тушатся, поскольку это допускаютъ силы тренія колесъ о землю. Такимъ образомъ измѣненія въ скорости ножа вызываютъ колебанія рамы, которыя будутъ безвредны лишь постольку, поскольку онѣ не выходятъ изъ предѣловъ упругости ея и сохраняются въ формѣ чистыхъ колебаній, а вообще могутъ частью или полностью гаситься при встрѣчѣ съ сопротивленіемъ, и переходить въ форму деформации частей. Такъ напр. прикладывая руку къ хомуту лошади во

время движенья косилки, легко ощутить чрезвычайно непріятныя, мелкія дрожанія, которыя, очевидно, натираютъ холку лошадей. Такимъ образомъ работа силъ инерціи проявляется внѣшнимъ образомъ различно, смотря потому, какого рода сопротивленія встрѣчаются.

Кромѣ того въ игру силъ инерціи вмѣшиваются внѣшнія силы. Напр., въ паровой машинѣ (черт. 8) сила пара P , дѣйствуя на поршень, разлагается на двѣ силы N и T . Эти силы не могутъ создать вращательнаго момента, если центръ тяжести машины лежитъ на оси штока.

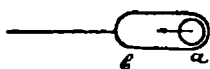


Черт. 8.

Но внѣшняя сила сопротивленія, приложенная къ кривошипу, создаетъ такую пару. Чѣмъ меньше будутъ колебанія въ этой силѣ, тѣмъ покойнѣе будетъ стоять машина на рамѣ.

Особенно вредно проявляется дѣйствіе внѣшней силы въ формѣ ударовъ, когда въ головкахъ шатуна имѣются зазоры.

Въ самомъ дѣлѣ, если относительное положеніе головки шатуна и пальца таково, какъ на черт. 9, то шатунъ иногда



Черт. 9.

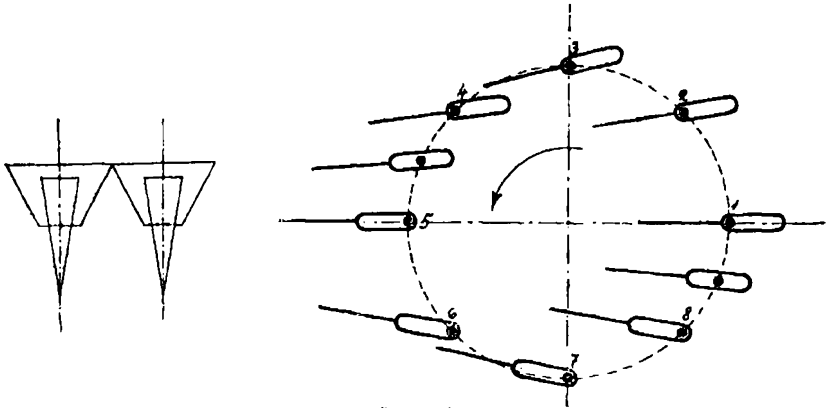
останавливается, а связь между пальцемъ и шатуномъ нарушается, т.-е. палецъ становится свободнымъ, а та энергія, которая накопится во вращающей массѣ

пальца при перемѣщеніи пальца отъ a до b передается шатуну въ видѣ удара. Такого рода относительное перемѣщеніе пальца внутри головки шатуна происходитъ при каждой перемѣнѣ хода, т.-е. въ обѣихъ мертвыхъ точкахъ.

Въ томъ случаѣ (черт. 10), когда ножъ при подходѣ къ мертвой точкѣ скрывается въ пальцахъ и вслѣдствіе этого сопротивленіе уничтожается или во всякомъ случаѣ уменьшается, шатунъ дѣйствіемъ силъ инерціи въ промежутокъ между 4—5, а также 8—1, успѣваетъ подойти къ пальцу, такъ что смѣна давленій въ 5 и 1 происходитъ безопасно и безъ большого удара.

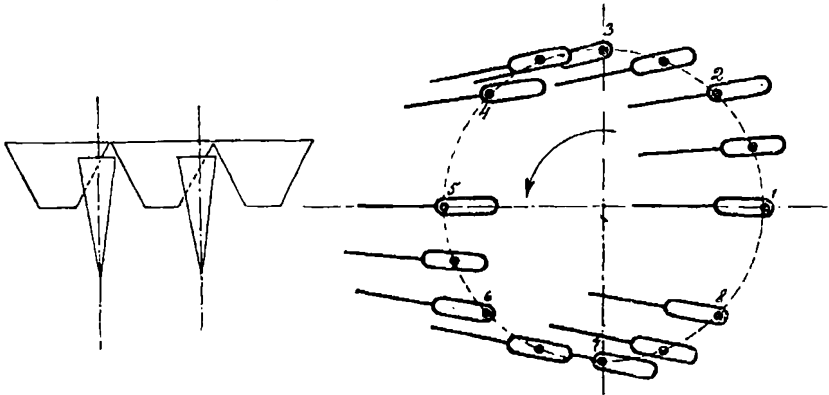
Если же ножъ скрывается (черт. 11) въ пальцахъ въ к.-ниб. моменты напр. 3 и 7, а въ 1 и 5 рѣжетъ, то происходитъ 4 удара пальца о шатунъ, на промежуткахъ 34, 78, а также 12 и 56.

Дѣйствительно, такъ какъ въ точкахъ 1 и 5 силы инерціи



Черт. 10.

шатуна не переставляють его, то палець будетъ догонять головку и ударять по ней въ 2 и 6.



Черт. 11.

Освобождаясь же отъ сопротивлений въ точкахъ 3 и 7, шатуны будутъ сначала обгонять палець дѣйствіемъ силъ инерціи, но затѣмъ палець все-таки догонитъ въ 4 и 8 головку и разовьетъ ударъ, отдавая всю энергію, которая накопится въ видѣ ускореній массъ, связанныхъ съ пальцемъ. Какъ показываетъ опытъ, удары эти настолько велики, что работа въ этомъ случаѣ становится почти невозможной.

Нужно замѣтить, что въ мертвыхъ точкахъ усиліе кривошипа направлено $\perp$ -но къ шатуну, слѣдовательно здѣсь удара и быть не можетъ. Во всѣхъ остальныхъ, а въ особенности въ промежуткахъ 34, 67, гдѣ усиліе идетъ по длинѣ шатуна,

тѣмъ болѣе рѣзко скажется ударъ пальца о шатунъ. Словомъ, вся энергія лошадей, накаплиаясь въ промежутки 12, 34, 56, 78, пойдетъ на ускореніе зубчатокъ и передается съ ударомъ шатуну въ точкахъ 3, 5, 7, 9; чѣмъ въ большемъ разстояніи отъ мертвыхъ точекъ шатунъ будетъ догоняться пальцемъ, тѣмъ сильнѣе ударъ.

Это замѣчаніе по отношенію къ шатуну косилокъ можетъ быть отнесено ко всякому механизму. Такъ часто на рукояткѣ приходится ощущать чрезвычайно непріятные удары при зазорахъ въ соединеніи отдѣльных частей механизмовъ.

Точно также, перевозка сложныхъ машинъ, напр. сноповязалокъ, состоящихъ изъ многихъ отдѣльных частей на шарнирахъ, по мощнымъ дорогамъ сопровождается постоянными, неправильными толчками. Удары, складываясь, вызываютъ раскачиваніе отдѣльных частей и выходятъ изъ предѣловъ упругости. Вслѣдствіе этого поломки частей при этомъ неизбѣжны.

Такимъ образомъ дѣйствіемъ силъ инерціи:

1) періодически измѣняется затрата движущей силы на ускореніе и замедленіе массъ механизма, что влечетъ за собою неравномѣрность движенія;

2) вызываетъ усиленное истираніе и дрожаніе подшипниковъ, если центръ тяжести вращающихся частей находится внѣ оси вращенія, или ось вращенія не есть главная ось тѣла;

3) движеніе даже ничтожныхъ по массѣ частей сопровождается раскачиваніемъ рамы, поломкой или разрушеніемъ ея;

4) при вмѣшательствѣ случайныхъ внѣшнихъ силъ, напр. толчковъ дороги, вредное значеніе силъ инерціи еще болѣе возрастаетъ.

Тѣ силы инерціи, которыя вызываются при вращательномъ движеніи массъ, сравнительно легко могутъ быть уничтожены при помощи противовѣсовъ. Силы же инерціи, происходящія отъ колебательнаго движенія частей механизма, могутъ быть уничтожены только при условіи, что центръ тяжести всѣхъ частей механизма при его движеніи сохраняетъ то же самое положеніе, какъ и при покоѣ, что въ большинствѣ случаевъ неудобноисполнимо. Поэтому съ дѣйствіемъ силъ инерціи при колебательномъ движеніи приходится считаться постоянно.

Основные задачи изученія колебательнаго движенія для сельско-хозяйственныхъ машинъ.

Колебательное движеніе примѣняется въ сельско-хозяйственныхъ машинахъ и орудіяхъ очень часто (шатуны, соломотрясы, грохота, рѣшета, ручныя орудія и т. д.).

Въ технику вообще замѣтно стремленіе замѣнить колебательное движеніе болѣе удобнымъ, вращательнымъ (паровыя турбины и т. д.), неравномѣрное—равномѣрнымъ. Но отказаться совершенно, хотя бы и въ отдаленномъ будущемъ, отъ колебательнаго движенія едва ли представится возможнымъ. Въ самомъ дѣлѣ, вращательное движеніе, очевидно, характеризуетъ непрерывное теченіе явленія, а колебательное движеніе—многократную повторяемость явленія.

Изученіе колебательнаго движенія для сельско-хозяйственныхъ машинъ важно въ трехъ отношеніяхъ: а) встряхиваніемъ, зеренъ, соломы, сбоины и т. д. достигается сортировка и очистка зеренъ б) колебательное движеніе всякаго рода частей (рѣшетъ, шатуновъ и т. д.) влечетъ за собой расшатываніе рамы. Вопросъ объ уравниваніи такого рода частей въ сельско-хозяйственныхъ машинахъ вслѣдствіе значительной скорости движущихся частей очень важенъ. Но особенно важно то, что рама или станна сельско-хозяйственныхъ машинъ и орудій не скрѣпляется наглухо при помощи тяжелаго фундамента съ землей, а перемѣщается во все время работы или, въ лучшемъ случаѣ, укрѣпляется при помощи башмаковъ (молотилки). Поэтому сотрясенія рамы сельско-хозяйственныхъ машинъ и орудій проявляются особенно рѣзко. с) работа ручными орудіями ведется исключительно при помощи колебательнаго движенія, такъ какъ механизмъ живыхъ двигателей исключаетъ возможность вращательнаго движенія.

А) Для точной сортировки зерна при помощи встряхиванія ставятъ зерна многократно въ самыя разнообразныя положенія относительно плоскости рѣшета въ расчетъ на то, что одно изъ этихъ положеній будетъ надлежащимъ для прохода зерна. Встряхиваніе зеренъ замѣняется въ цилиндрическихъ рѣшетахъ переваливаніемъ ихъ съ боку на бокъ, но производительность такихъ рѣшетъ не можетъ быть велика, такъ какъ рабочей поверхностью является только нижняя часть цилиндра.

Кромѣ того при встряхиваніи болѣе легкія, объемистыя части всплываютъ на поверхность и могутъ быть удаляемы при помощи вѣтра.

Пусть зерна лежатъ на поверхности рѣшета, имѣющаго колебательное движеніе по горизонтальному и вертикальному направленію.

Вслѣдствіе дѣйствія тяжести, зерно имѣетъ ускореніе g ; поэтому, если ускореніе рѣшета при опусканіи внизъ будетъ $< g$, то зерно остается лежать на рѣшетѣ; при ускореніи рѣшета $> g$, зерно будетъ отставать отъ рѣшета. Точно также, чтобы подбросить зерно вверхъ, нужно сообщить ему ускореніе $> g$. Такимъ образомъ для того, чтобы зерно не только поднималось и опускалось вмѣстѣ съ рѣшетомъ, ускореніе рѣшета должно быть болѣе ускоренія силы тяжести g . Напр., если максимальное ускореніе рѣшета при помощи кривошипнаго механизма въ мертвыхъ точкахъ равно $\omega^2 r$, то

$$\omega^2 r > g \text{ или}$$

$$\frac{\pi^2 n^2}{30^2} r > g, \text{ гдѣ } r \text{ — радіусъ кривошипа.}$$

Отсюда число оборотовъ вала

$$n > \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{r}}$$

Напр., при $r = 2''$, $g = 32'$

$$n > \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{32 \cdot 12}{2}} \approx 130.$$

По горизонтальному направленію зерна увлекаются рѣшетомъ при помощи силы тренія $F = fmg$, и массѣ m зерна сообщается ускореніе j_h , которое можетъ быть опредѣлено изъ ур—ія

$$j_h = \frac{F}{m} = \frac{fmg}{m} = fg,$$

гдѣ f — коэф. тренія.

Если ускореніе рѣшета $< fg$, то зерно останется въ покоѣ; слѣдовательно для передвиженія зерна по горизонтальному рѣшету нужно, чтобы ускореніе его $> fg$.

Очень своеобразное движеніе получаетъ зерно, когда рѣшету сообщается равномерное вращательное движеніе, такъ что каждая точка его описываетъ окружность радіуса R (плоскіе разсѣвы) (черт. 12). При такомъ движеніи рѣшета