

В.Г. Кушнир

(Костанайский государственный университет имени А.Байтурсынова
Костанай, Республика Казахстан)

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОДОПОДЪЕМНОГО АГРЕГАТА

Аннотация. Подъем воды механизированными средствами на пастбищах в нашей стране получило широкое распространение, начиная с 70-х годов нашего столетия. И в настоящее время для обводнения пастбищ применяется большое количество водоподъемных средств, которые различаются по принципу действия, конструктивному исполнению, виду рабочих органов, технико-экономическими показателями. Применяющееся на пастбищах многообразие различных конструкций средств механизации подъема воды объясняется различными типами водозаборных сооружений, глубиной колодцев до дна, дебитом водоисточника, а также поисками эффективных конструкций водоподъемников, которые наиболее полно отвечали бы все возрастающим зоотехническим и технико-экономическим требованиям.

Ключевые слова: водоподъемник, лента, барабан, производительность, слой воды, ролик, диаметр, скольжение.

На пастбищах республики Казахстан, Российской Федерации и республик Средней Азии применяются модернизированные ленточные водоподъемные установки. Данные водоподъемники рекомендованы к использованию для фермерских хозяйств различной специализации и пастбищного животноводства.

Водоподъемники ленточные предназначены для подъема воды из шахтных колодцев, наиболее эффективны при установке на стационарных водопойных пунктах. Состоят из рабочего органа в виде бесконечной гладкой или шероховатой прорезиненной ленты, приводимой в движение ведущим (верхним) барабаном, на котором эта лента подвешена. В нижней части лента свободно опущена под уровень воды и натянута благодаря собственному весу и весу натяжного устройства – нижний (ведомый) барабан с грузом. Ведущий барабан находится в водоприемном корпусе, который имеет откидную крышку, дно с карманами и сливной патрубком. Водоподъемники устанавливают на одной раме с двигателем внутреннего сгорания, электродвигателем или ветродвигателем. Привод осуществляется клиноременной передачей. Для последовательного запуска двигателя внутреннего сгорания и водоподъемника на ведущем валу имеется муфта сцепления. С целью съема не сбросившейся части воды с нисходящей ветви ленты, на верхней части кармана установлен водосъемный элемент.

Технологический процесс подъема воды водоподъемником осуществляется следующим образом. При вращении ведущего барабана лента за счет сил трения приводится в движение и, пробегая под водой, смачивается и, выходя из воды, удерживает на своей поверхности некоторый ее слой благодаря силам молекулярного сцепления. В результате того, что скорость движения ленты превосходит скорость стекания воды по ней, этот слой поднимается вверх. При пробегании ленты по верхнему ведущему барабану часть воды за счет центробежной силы отрывается от поверхности ленты, не оторвавшаяся часть воды снимается водосъемным элементом и попадает в водоприемный корпус, откуда по сливному патрубку вода поступает в емкость или непосредственно в групповые поилки или корыта. Регулирование подачи воды осуществляется путем изменения частоты вращения ведущего вала водоподъемника с помощью различных устройств в зависимости от рода привода.

Ленточные водоподъемники в процессе работы выполняют следующие операции: захват и подъем воды рабочим органом и отвод воды с поверхностей ленты в водоприемный корпус. Основной и наиболее ответственной операцией является отвод поднятой воды с ленты, так как от этого зависит величина подачи водоподъемника и потребляемой энергии.

Анализ механики отвода поднятой воды показал, что при работе водоподъемника лента, выходя из воды, удерживает слой жидкости как внешней, так и внутренней поверхностью. Слой воды с внешней поверхности ленты сбрасывается в водоприемный корпус за счет центробежных сил. Слой воды, удерживающийся на внутренней поверхности водонесущей ветви ленты при набегании ее на ведущий шкив, накапливаясь, образует водяной клин между внутренней поверхностью ленты и ведущим шкивом. Рабочая поверхность последнего имеет форму сплошного цилиндра. По мере увеличения водяного клина под действием сил тяжести малая часть

воды попадает в водоприемный корпус, большая часть воды через карман возвращается в водоисточник. При набегании ленты на ведущий барабан, слой воды, который находится на внутренней стороне ленты, сталкивается с основанием барабана при огибании его лентой. Здесь и происходит сброс этого слоя воды вниз. Во время работы ленточного водоподъемника лента со слоем воды подходит к ведущему барабану и набегает на него. Между основанием барабана и лентой находится слой жидкости, который увеличивает буксование ленты, так как слой воды выступает в роли смазки, при этом уменьшается скорость и уменьшается, соответственно производительность самого водоподъемника.

Таким образом, в конструкции серийно выпускаемых ленточных водоподъемников до набегания или при огибании лентой ведущего шкива отвод воды с внутренней поверхности ленты не предусмотрен, что нарушает их технологический процесс и ухудшает технико-экономические показатели.

Объемная подача водоподъемника является основным показателем его работы. Установлено [1], что увеличение подачи водоподъемника при постоянной ширине ленты непосредственно связано с увеличением скорости ленты, следовательно, и с увеличением тягового усилия на ведущем барабане. Также известно, что увеличение тягового усилия можно добиться следующими способами:

- повышением коэффициента трения скольжения ленты по барабану;
- увеличением угла обхвата барабана лентой;
- увеличением веса шкива-балласта.

Нетрудно убедиться в том, что увеличение веса шкива-балласта вызывает увеличение металлоемкости, коэффициент трения скольжения зависит от многих факторов, в том числе и от наличия между соприкасающимися телами инородных веществ, в данном случае воды, являющейся смазкой. Следовательно, необходимо максимально уменьшить влияние этого фактора, что позволит одновременно улучшить условия трения и осуществить отвод воды с внутренней поверхности водонесущей ветви ленты. Это достигается установкой поджимного ролика на восходящей ветви ленты различной конструкции.

Исходя из вышеизложенного, с учетом анализа существующих конструкций и исследований ленточных водоподъемников с целью повышения их подачи предлагается, применить усовершенствованный ленточный водоподъемник. Новизна его конструкции подтверждена патентом РК №12018. Производительность является одним из основных показателей работы ленточного водоподъемника. В работах В.Н. Машкова [2] экспериментальные значения толщины слоя жидкости на ленте определены не непосредственным путем, а по производительности ленточного водоподъемника и скорости движения ленты.

На основании выше изложенного и полученных результатов следует, что с повышением скорости движения ленты производительность водоподъемника должна возрастать, так как с увеличением скорости толщина слоя жидкости тоже увеличивается. Вместе с тем из практики эксплуатации ленточных водоподъемников известно, что при повышении числа оборотов ведущего блока сверх определенного предела их производительность уменьшается. Это связано с проскальзыванием ленты. Следовательно, один из путей повышения производительности ленточного водоподъемника заключается в устранении проскальзывания ленты.

Коэффициент трения скольжения ленты по ведущему барабану является основным показателем тяговой способности ведущего барабана водоподъемника. Поэтому важно знать его количественные значения при различных режимах работы агрегата.

В технической литературе коэффициент трения скольжения мокрых лент, что имеет место при эксплуатации ленточных водоподъемников, освещен совершенно недостаточно. Здесь отсутствует реальная оценка условий работы ленточных водоподъемников; при тяговых расчетах значения коэффициентов трения, принимаемых по таблицам, неопределенны, в частности, не указывается влажность соприкасающихся поверхностей, режимы работы и т.д.

Впервые закон передачи усилия гибким органам посредством силы трения был выведен в 1775 г. членом Петербургской Академии наук Л.Эйлером для невесомой, абсолютно гибкой нерастяжимой нити, перекинутой через неподвижный барабан с углом обхвата α . Возникли дискуссии о применимости закона Л.Эйлера к приводу гибкой связи. Попытки внести поправки в уравнение Л.Эйлера оказались необоснованными. Поэтому для практического использования для привода с гибкой связью ныне применяется уравнение Л.Эйлера.

По форме А.Фридерехом [3] были определены коэффициенты сухого трения в функции скорости скольжения. Испытательная установка А.Фридериха состояла из шкива и перекинутого

через него ремня, нагруженного с одной стороны грузом, а с другой стороны прикрепленного к неподвижному записывающему динамометру.

В результате экспериментов А.Фридерх установил, что величина коэффициента трения, подсчитанная по формуле Л.Эйлера, возрастает с увеличением скорости скольжения кожного ремня по шкиву и падает по мере увеличения давления ремня на шкив и повышения температуры.

Определение коэффициента трения по формуле Л.Эйлера было предпринято В.Адамчуком [4]. Опыты проводились на экспериментальной установке, состоящей из барабана и перекинутой на него ленты. Набегающие и сбегающие ветви на концах были соединены динамометром.

В.Адамчуку не удалось установить функциональной зависимости коэффициента трения от скорости скольжения и какой-либо зависимости между коэффициентом трения и удельным давлением ленты на барабан. Весьма важным в его работе является выбор расчетного значения коэффициента трения различных футеровок.

В технической литературе имеются работы по нахождению зависимости коэффициента трения от скорости скольжения. В XX столетии ряд таких исследований применительно к ременным передачам провели Скуч, Куцбах, Штиль, Стефан, Шульце-Пилот и др. Вопрос этот достаточно подробно освещен в работе В.Добровольского [5].

Существенным недостатком вышеперечисленных работ является отсутствие влияния давления на коэффициент трения. Кроме того, эти формулы получены при сухом трении.

Известно, что с повышением скорости движения ленты производительность ленточного водоподъемника должна возрастать. Однако у серийного водоподъемника наибольшая производительность достигается при скорости около 6 мсек^{-1} и с дальнейшим увеличением числа оборотов ведущего блока начинает уменьшаться. Это связано с проскальзыванием ленты. Наиболее простой способ устранения данного явления – установка поджимного ролика перед ведущим барабаном, что позволяет увеличить угол обхвата ведущего барабана лентой и за счет чего происходит уменьшение проскальзывания ленты.

В существующих схемах ленточных водоподъемников, поджимной ролик устанавливается на нисходящей ветви рабочего органа - ленты и служит только для увеличения обхвата - уменьшение проскальзывания ленты. В данной схеме ленточных водоподъемников сьем поднятой воды происходит с одной стороны ленты, а именно с внешней стороны за счет центробежных сил, возникающих при огибании лентой ведущего барабана. Вода, поднимаемая внутренней стороной ленты, в основном вытесняется при встрече ленты с ведущим барабаном, обратно вниз.

В нашей конструкции ленточного водоподъемника нами установлен поджимной ролик на восходящей ветви ленты. Поэтому возникла гипотеза, что сьем поднятой воды, осуществляется с двух сторон ленты. Сьем воды с внутренней стороны ленты происходит на поджимном ролике за счет центробежных сил, а вода, поднятая внешней стороной ленты, проходя между лентой и поджимным роликом, за счет конструкции барабана, снимается на ведущем барабане так же за счет центробежных сил.

Для полного съема поднятой воды с двух сторон рабочего органа – ленты, необходимо определить оптимальный диаметр поджимного ролика. Так как сьем воды с внутренней стороны ленты осуществляется на поджимном ролике, за счет центробежных сил, следовательно, чем больше центробежная сила, тем меньше объемные потери.

Центробежная сила определяется по формуле:

$$F_u = \frac{m g_l^2}{r}, \quad (1)$$

Следовательно, при $F_u \rightarrow \max$, $r \rightarrow \min$.

Наш ленточный водоподъемник можно сравнить с ременными передачами, а поджимной барабан играет роль натяжного ролика. Натяжные ролики в основном применяют в плоскоремённых передачах с большими передаточными отношениями и малыми расстояниями между осями. Передачи выполняются с неподвижными осями шкивов и удобны в эксплуатации, так как в них облегчено надевание ремня на барабан. Зато ремень имеет меньший ресурс, чем на рабочих шкивах, так как он изгибается на ролике в другую сторону; при этом сильно повышаются требования к соединениям концов ремней (лент). Исходя из вышеизложенного, рассмотрим рисунок 1 и определим оптимальные кинематические параметры поджимного ролика.

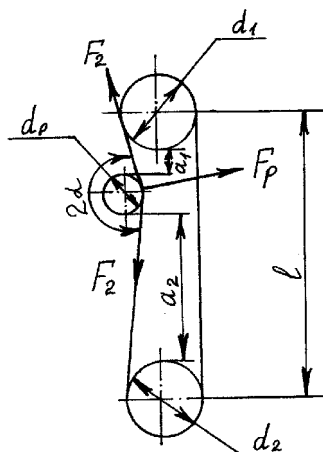


Рис. 1. Кинематическая схема водоподъемника

Для увеличения угла обхвата на ведущем барабане ролик ставят ближе к барабану. Однако во избежание понижения долговечности ленты расстояние между роликом и барабаном рекомендуется принимать:

$$a_1 \geq 0,5d_1, \quad (2)$$

Угол обхвата ремнем ролика α_p не должен быть слишком мал для большего постоянства натяжения ленты при вытяжке. Рекомендуется принимать угол около 60° .

Сила нажатия между ремнем и роликом определяется:

$$F_p = 2F_2 \cos \alpha, \quad (3)$$

Причем $a_2 > a_1$ и угол $2\alpha \geq 120^\circ$.

При этом в меньшей степени снижается долговечность ленты от дополнительных перегибов на ролике, и сам ролик получается легче.

Исходя из этого, определяем диаметр поджимного ролика:

$$d_p = (0,333 \dots 0,5)d_1, \quad (4)$$

Диаметр ведущего барабана базового ленточного водоподъемника равен:

$$d_1 = 230 \text{ мм}$$

Следовательно, диаметр поджимного ролика принимаем в пределах:

$$d_p = 76 \dots 115 \text{ мм}$$

Принимаем диаметр поджимного ролика $d_p = 80 \text{ мм}$.

При данном диаметре поджимного ролика происходит наибольший сьем, поднятой воды с внутренней стороны ленты, за счет возникновения центробежных сил, а так же происходит минимальный износ рабочего органа – ленты.

Рассмотрим схему взаимодействия поджимного ролика и рабочего органа – ленты со слоем поднятой воды при огибании его (рисунок 2). Примем к элементу $abcd$ водного слоя принцип отвердевания и рассмотрим силы, действующие на него: dG – сила инерции (центробежная сила); dR – радиальная сила, удерживающая элемент на ленте, для данного случая сила поверхностного натяжения; T – окружная сила, действующая на элемент и зависящая от вязкости жидкости; P – сила тяжести, зависящая от плотности жидкости.

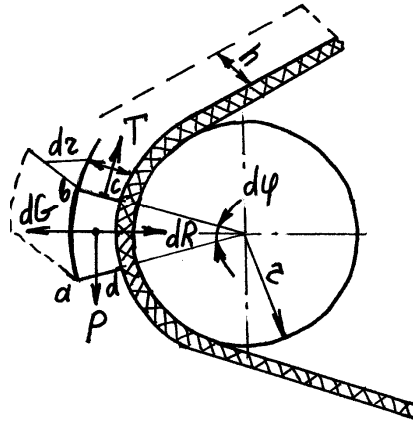


Рис. 2. Кинематическая схема взаимодействия поджимного ролика и ленты

Равновесие элемента на ленте выполняется при условии:

$$dG + dR + T + P = 0, \quad (5)$$

Определим условия, при которых возможно отделение элемента $abcd$ от ленты под действием центробежных сил, возникающих на криволинейном участке траектории. Для упрощения будем считать толщину ленты равной нулю, что не меняет рассуждений.

Легко видеть, что работу по отрыву элемента производит сила инерции dG , силы T и P , перпендикулярные радиусу поджимного ролика, работы не производят и изменяют только толщину слоя воды dr . Граничное условие, отвечающее моменту отрыва элемента от ленты, наступает при равенстве сил dG и dR .

С учетом этих допущений условие равновесия элемента перепишем в виде:

$$dG + dR = 0, \text{ или в скалярной форме: } dG - dR = 0, \quad (6)$$

$$\text{учитывая, что } dG = \frac{\rho g^2 h d r d \varphi}{r}; \quad dR = 2 \alpha h d \varphi, \quad (7)$$

где $2h d \varphi$ - длина контура элемента;

h - ширина ленты;

α - коэффициент поверхностного натяжения;

ρ - плотность воды.

Из уравнения (7) следует, что:

$$dG = dR \text{ или } \frac{\rho g^2 h d r d \varphi}{r} = 2 \alpha h d \varphi, \quad (8)$$

Таким образом, условие съема воды не зависит от угла охвата ролика лентой и ширины ленты.

Линейная скорость движения ленты, при которой начинается съем воды определяется:

$$g = \sqrt{\frac{2 r \alpha}{\rho d r}}, \quad (9)$$

Понятно, что чем радиус ролика меньше, тем съем воды будет происходить интенсивнее, так как такое уменьшение, увеличивает силу инерции, действующую на элемент жидкости.

Анализ результатов исследований ленточных водоподъемников позволяет отметить, что имеется возможность повысить производительность ленточного водоподъемника путем введения в конструктивную схему поджимного ролика, установленного на восходящей ветви рабочего органа - ленты, это позволит снимать поднятую воду не только с наружной стороны ленты, но и с внутренней стороны ленты за счет центробежных сил, возникающих при огибании поджимного ролика и уменьшить проскальзывание ленты на ведущем барабане.

Решение поставленных задач осуществлялось в лабораторных и производственных условиях. В лабораторных условиях изучены зависимости производительности от различных факторов и определены оптимальные параметры ленточного водоподъемника, для чего были изготовлены специальные установки и различные вспомогательные приспособления.

В производственных условиях испытан образец ленточного водоподъемника с конструктивными оптимальными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульпин П.И., Исаев В.А., Нечаев Б.В. Экспериментальные исследования водоподъемника с повышенной скоростью движения ленты. Механизация работ в животноводстве // Сб.науч.работ: Саратовский СХИ. - Саратов, 1975. – 245 с.
2. Машков В.Н. Исследование ленточных водоподъемников и некоторые вопросы их эксплуатации на шахтных колодцах в пустынях Средней Азии. Автореф. Дис. к.т.н. - Ташкент, 1958. – 18 с.
3. Freiderich A. Versuche liber die grosse der wirksamen kraftswisehen treibriemen and scheibe // Z.d.v.d.y. - №59. – 68 с.
4. Адамчук В.И. Исследование тяговых способностей футерованных различными материалами приводных барабанов. Труды ВНИИПТМАШ «Конвейеры», №9(20), 1964. – 279 с.
5. Добровольский В.А. Ременная передача. - М.: Колос, 1954. – 261 с.

REFERENCES

1. Kulpin P.I., Isaev V.A., Nechaev B.V. Eksperimentalnye issledovaniya vodopodmnika s povyshennoi skorostyu dvizheniya lenty. Mekhanizatsiya rabot v zhivotnovodstve // Sb.nauch.rabot: Saratovskiy SKhI. - Saratov, 1975. – 245 s.
2. Mashkov V.N. Issledovanie lentochnykh vodopodemnikov i nekotorye voprosy ikh ekspluatatsii na shakhtnykh kolodtsakh v pustynakh Srednei Azii. Avtoref. Dis. k.t.n. - Tashkent, 1958. – 18 s.
3. Freiderich A. Versuche liber die grosse der wirksamen kraftswisehen treibriemen and scheibe // Z.d.v.d.y. - №59. – 68 с.
4. Adamchuk V.I. Issledovanie tyagovykh sposobnostei futerovannykh razlichnymi materialami privodnykh barabanov. Trudy VNIPTMASH «Konveiry», №9(20), 1964. – 279 s.
5. Dobrovolskiy V.A. Remennaya peredacha. - M.: Kolos, 1954. – 261 s.

Кушнир В.Г.

Су көтергіш агрегаттың келешектегі құрылымдық – технологиялық сұлбасының негіздемесі

Түйіндеме. Жұмыста суды ленталық су көтергіш арқылы көтерудің технологиялық үдерісі ұсынылған. Лента – жұмыс құралының сырғып жылжу ықпалдары анықталды. Су көтергіштің сырғып жылжуын азайтуға және өнімділігін арттыруға арналған жағдайлар анықталды. Құрылымдық сұлбада қыспа аунақшасын қолдану ескертілген. Қыспа аунақшасының тиімді кинематикалық параметрлері анықталды. Қыспа аунақшасы мен лента – жұмыс құралының оны айналдыру кезінде көтерілген су қабатымен әрекеттесуінің сұлбасы қарастырылды.

Түйінді сөздер: су көтергіш, лента, барабан, өнімділік, су қабаты, аунақша, диаметр, сырғып жылжу.

Кушнир В.Г.

Обоснование перспективной конструктивно-технологической схемы водоподъемного агрегата

Резюме. В работе представлен технологический процесс подъема воды ленточным водоподъемником. Определены факторы проскальзывания рабочего органа – ленты. Определены условия для уменьшения проскальзывания и повышения производительности водоподъемника. Обусловлено применение поджимного ролика в конструктивной схеме. Определены оптимальные кинематические параметры поджимного ролика. Рассмотрена схема взаимодействия поджимного ролика и рабочего органа – ленты со слоем поднятой воды при огибании его.

Ключевые слова: водоподъемник, лента, барабан, производительность, слой воды, ролик, диаметр, скольжение.

Kushnir V.G.

Justification promising structural and technological scheme of water-lifting machine

Summary. This paper presents a process of lifting water by the belt water-lifting machine. It were detected the factors slip working body - the tape. It were detected the conditions to reduce slippage and improve the performance of the water-lift machine. It due to the application of the pressure roller in the design scheme. Optimal kinematic parameters of pressure roller were determined. It was determined the scheme of interaction between the pressure roller and the working body (the tape) with a layer of elevated water when it bends around roller.

Key words: water-lifting machine, tape, drum, productivity, a water layer, the roller, diameter, slipping.