



УДК 621.43/075.8/

А.А. Егоров

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**МЕХАНИЗМ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ
В УСЛОВИЯХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ**

Появлению первичного очага горения предшествует процесс локального разогрева микрообъема смеси при подводе энергии электрического разряда и процесс активации реакций высокотемпературного окисления.

Первичное воспламенение в микроточке и последующее в прилегающих слоях свежей смеси наступает в результате достижения температурного состояния смеси и расширения частоты реакций активного направления, способствующих развлечению и расширению объема цепочек окисления.

С момента появления микроочага горения процесс расширения и переноса зоны горения можно представить как одну из форм умеренного процесса самовоспламенения прилегающих слоев свежей смеси. Воспламенение происходит по мере разогрева свежей смеси при повышении параметров ее состояния и ускорения процесса тепловыделения.

До появления новых условий и обновления механизма более активного окисления процесс воспламенения и переноса зоны горения носит в большей части тепловой характер. Скорость распространения зоны горения определяется интенсивностью теплового потока и прогревом прилегающих слоев смеси до температуры воспламенения [1].

Тогда скорость расширения и переноса зоны горения будет определяться интенсивностью теплового потока, и ее текущее значение можно вычислить согласно ранее принятой зависимости для определения скорости распространения пламени в условиях ламинарного горения

$$u_T = u_h = \sqrt{\frac{0,112 \cdot 10^{-8} \cdot c_p^2 \cdot (1 + \gamma_r)^3}{(Hu - \Delta Hu_{xum} - \Delta Hu_{duc})^3 \cdot (T_z + 118)} \cdot \frac{R_{cm} \cdot T_{cm}}{P_{cm} \sqrt{T_z}} \cdot \left(\frac{\mu R \cdot T_z^2}{E} \right)^3 \cdot w_{x.p.}} \quad (1)$$

По мере развития и ускорения физико-химического процесса переноса зоны горения происходит ее формирование и расширение.

Изменения физико-химических условий с ускорением процессов окисления приводят к накоплению и повышению концентрации высокоактивных промежуточных неустойчивых соединений, способных, при определенных условиях присутствия свежей смеси, продолжить процесс активного окисления. С данного момента процесс последующего воспламенения и распространения пламени будет управляться наличием и интенсивностью турбулентных процессов переноса активной и разогретой массы заряда, не завершившей процесс окисления в зоне горения.

Процесс горения, достигнув определенных физико-химических условий и состояния, принимает турбулентный характер с расширением зоны турбулентного обмена.

Турбулентное состояние среды и насыщение зоны горения промежуточными соеди-

нениями обеспечивают условия для усиления турбулентно-диффузионных процессов переноса активных центров, способных продолжить цепочку окисления как в среде крупных локальных образований исходной смеси, так и в среде соединений промежуточного окисления, не обладающих на данный момент способностью самостоятельно продолжить или завершить процесс химического окисления.

По мере развития зоны горения, под действием диффузионных процессов и текущего газодинамического состояния, складываются иные условия и изменения механизма, определяющего физический процесс перемещения зоны горения или процесс распространения пламени.

Температурное состояние и повышенная концентрация промежуточных продуктов сгорания на переднем фронте зоны горения с учетом высокой интенсивности турбулентных перемещений позволяет активизировать насыщение смежных слоев смеси активными радикальными соединениями. Итогом является расширение зоны реакции и генерация новых очагов горения.

Каждая из выброшенных частиц промежуточного окисления на момент ее появления представляет собой индивидуальный очаг химического окисления способного или неспособного поддержать процесс физического высокотемпературного окисления, при поддержке теплоты, дополнительно выделенной в результате частичного выгорания свежей смеси.

Важно отметить, что в данном случае период разогрева начального микрообъема смеси до температуры воспламенения отсутствует как предварительно пройденный этап до появления очага физического процесса сгорания.

Природное родство и физическая взаимосвязь этих процессов определяет текущее состояние рабочего заряда с учетом изменения геометрических размеров зоны конечных продуктов сгорания, зоны горения и зоны свежей рабочей смеси (рис. 1).

В соответствии со складывающимися условиями скорость распространения пламени и расширение зоны горения будет определяться интенсивностью диффузионных процессов в турбулентной среде [2].

$$u_T = C \cdot \sqrt{(\chi_M + \chi_T) \cdot w_{x,p}} . \quad (2)$$

При расширении зоны горения и повышении интенсивности действия турбулентно-диффузионных процессов, когда $\chi_T \approx l_T \cdot w'$ становится существенно больше $\chi_M \approx l_M \cdot w_M$,

$$u_T \approx u_h \cdot \sqrt{1 + \frac{l_T \cdot w'}{l_M \cdot w_M}} , \quad (3)$$

где l_T – геометрическая размерность турбулентных вихревых образований;

w' – скорость пульсаций в турбулентной среде;

l_M – длина свободного пробега молекулы;

w_M – скорость перемещения молекул в свободном движении.

По мере расширения зоны горения и повышения эффективности действия вихревых образований более крупных масштабов, имеющих предельные значения скорости турбулентных пульсаций, активность турбулентно-диффузионного процесса стабилизируется и скорость распространения пламени в соответствующей среде возрастает или снижается пропорционально текущей интенсивности турбулентно-диффузионного процесса $w' \cdot l_T$.

$$u_T \approx w \cdot l_T. \quad (4)$$

При описании механизма, определяющего процесс распространения пламени, в том числе и в турбулентной среде, в основном используется поверхностная теория, согласно которой повышение интенсивности процесса распространения пламени происходит пропорционально увеличению поверхностного контакта под воздействием нестационарного турбулентного состояния вихревого движения и сильного искривления границы поверхности контакта.

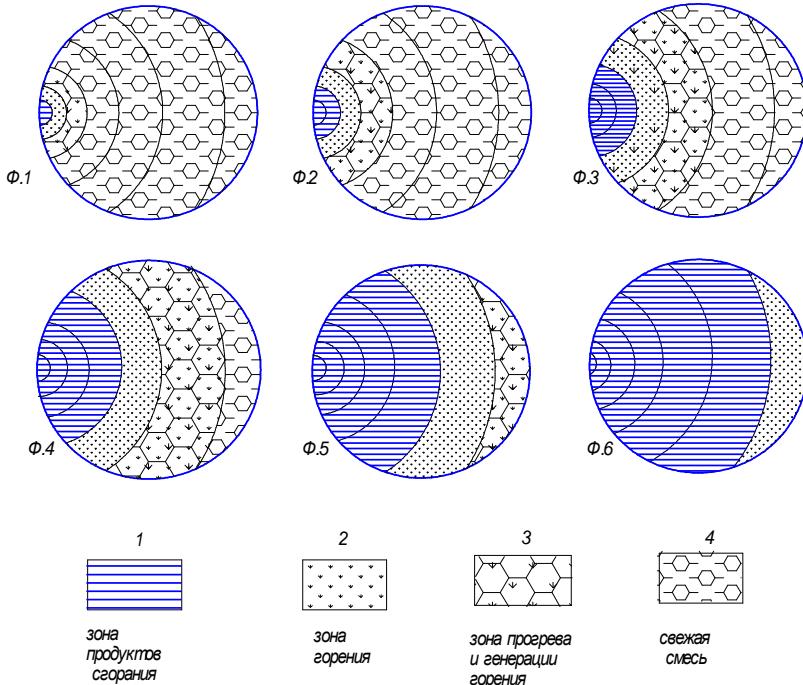


Рисунок 1 – Схема механизма развития, генерации и перемещения зоны горения: Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, Ф5, Ф6 – фрагменты текущего состояния

В данном случае есть обязательная необходимость отметить, что усиление тепло-массообмена и повышение скорости распространения пламени пропорционально интенсивности турбулентности происходит не только за счет искривления поверхности контакта по фронту пламени, но и за счет появления и насыщения прилегающей зоны свежей смеси продуктами активной фазы промежуточного окисления. В том числе генерация и появление новых очагов горения в зоне свежей смеси также сопровождается увеличением суммарной поверхности контакта и теплопереноса.

Как в первом, так и во втором случае, только при достижении определенных условий состояния среды горения, вторым определяющим фактором становится интенсивность и масштабность турбулентного обмена. Тем самым, односторонне подтверждается пропорциональность повышения или снижения скорости распространения пламени согласно ранее приведенной зависимости, подтверждаемой экспериментально.

Можно предполагать, что с расширением зоны горения и увеличением геометрических размеров вихревых образований происходит не только увеличение поверхности граничного контакта, но и повышение вероятности отрыва и заброса активных очагов в зону свежей смеси. Увеличивается объем и масса реагирующей (активно участвующей в реакции) сме-

си, пропорционально возрастает насыщенность зоны горения продуктами незавершенных реакций (насыщенность активной массой), что и обеспечивает повышение эффективности турбулентной диффузии при сохранении интенсивности турбулентного состояния.

Такая трактовка не требует объяснений по поводу повышения скорости распространения пламени при расширении зоны горения, за счет повышения интенсивности турбулентных пульсаций более крупных вихревых образований, с учетом экспериментального ее признания изотропной для условий замкнутого объема камеры сгорания двигателя.

Механизм ускорения процесса распространения пламени в условиях турбулентной среды и параметров состояния, характерных для двигателей, заключается в следующем.

Очаги горения, образовавшиеся в результате выброса активных соединений продуктов реакции, носят характер точечного воспламенения. Большая часть теплоты используется для прогрева и воспламенения прилегающих слоев свежей смеси. Процесс сгорания приближен к ламинарному виду, с развитием от центра и достаточно высоким уровнем выгорания в зоне горения, что является необходимым условием продолжения и развития процесса сгорания. Такие очаги на первичном этапе не могут быть источником генерации новых очагов горения, так как, в соответствии с их геометрическими размерами и условиями состояния, вероятность их раздробления крупномасштабными вихревыми образованиями приближается к нулю.

В то же время, по мере увеличения их числа и расширения горящих молей, в зоне между отдельными очагами горения образуются микро- или макрообъемы свежей смеси, изолированные от контакта со средой более низкого температурного состояния и определяющие свой процесс окисления с внешней поверхности.

Именно такие образования горящего моля, начинающие процесс окисления с внешней поверхности, становятся источником генерации и выброса промежуточных соединений с образованием новых очагов горения. Этому способствует начальное геометрическое положение зоны горения, ее физическое состояние и полное отсутствие теплоотдачи в окружающую среду с более высоким уровнем температурного состояния. В результате, теплота, выделившаяся при выгорании смеси, согласно направлению температурного градиента используется на повышение температурного состояния внутренней части смеси горящего моля с жестким нарастанием температуры и давления в среде микрообъема.

Достижение более высокого температурного состояния обеспечивает появление вырожденных разветвлений цепи реакции и появления продуктов промежуточного окисления.

По мере достижения определенного состояния по температуре и давлению, когда их значения превышают параметры состояния внешней оболочки изоляции, локальный процесс местного окисления переходит в состояние микродетонационного взрыва с выбросом продуктов незавершенного процесса окисления в прилегающие слои свежей смеси, где формируются новые очаги активного горения (рис. 2).

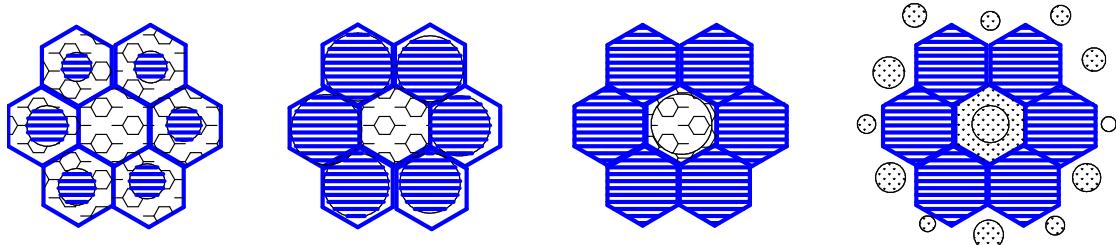


Рисунок 2 – Схема образования изолированного микрообъема и генерации новых очагов горения

Таким образом, процесс разгона и развития реакции приобретает характер не только прогрессирующего саморазогрева, но и прогрессирующего саморазгона и расширения. Процесс сопровождается резким расширением зоны горения и увеличением числа образующихся микрообъемов с последующим их разрушением взрывного характера. Этому процессу активно способствует турбулентное состояние среды.

При определенном уровне турбулентного состояния определяющим фактором становится текущее физическое и геометрическое состояние зоны горения и зоны генерации активных очагов горения по давлению и температурному состоянию.

По физической сущности такой процесс изначально остается сходным с процессом развития очага горения при точечном воспламенении смеси от искры зажигания, однако существенно отличается условиями и механизмом его дальнейшего развития. В первом случае присутствует интенсивный процесс поглощения подведенной или выделившейся теплоты.

При сгорании объемного изолированного моля вся теплота используется для усиления и развития процесса окисления внутри моля и завершается микровзрывом объема микромоля. Таким образом, массовая скорость переноса продуктов зоны горения будет зависеть от насыщенности зоны горения такими образованиями, геометрических параметров ее состояния и интенсивности турбулентного обмена.

Механизм стабилизации средней скорости сгорания складывается на основании следующих текущих условий.

Повышение насыщенности прилегающей зоны свежей смеси промежуточными компонентами реакций, способных к ее продолжению, приводит к увеличению числа очагов горения с развитием процесса горения от центра, с уменьшением их геометрических размеров и размеров образующихся микрообъемов с началом горения от внешней стороны.

Уменьшение геометрических размеров будет сопровождаться снижением интенсивности процесса микровзрыва и снижением насыщенности зоны прилегающей свежей смеси. В результате произойдет увеличение времени протекания процесса с расширением зоны горения от центра и укрупнение вторичных микрообразований, генерирующих процесс микровзрыва и переноса зоны горения. Это приведет к наращиванию мощности микровзрыва, интенсивности выброса и насыщенности прилегающих слоев свежей смеси продуктами промежуточного окисления, а верней насыщенности зоны горячими микроточками развивающегося высокотемпературного окисления.

При достижении определенного уровня насыщенности, процесс повторится с уменьшением геометрических размеров и интенсивности процесса микровзрыва.

Такой процесс хорошо согласуется с явлением усиления процесса сгорания на основном участке развития за счет генерации так называемой в научной литературе дополнительно вырожденной пламенем турбулентности. Усиление интенсивности диффузионного тепломассообмена происходит на участке пламенного окисления. Основным источником усиления интенсивности диффузионного тепломассообмена следует считать повышение насыщенности зоны горения продуктами незавершенного окисления, генерирующими появление активных микроцентров в зоне прилегающих слоев свежей смеси и усиление интенсивности диффузионного тепломассообмена с участием микровзрывных процессов.

Предлагаемая модель турбулентного горения хорошо согласуется с экспериментальными результатами повышения турбулентной скорости распространения пламени с учетом интенсивности газодинамического состояния $u_T \approx w \cdot l_T$ и физико-химических па-

метров состояния при повышении температуры $u_T \approx e^{-\frac{E_{ak}}{\mu RT_z}}$ и с повышением давления $u_T \approx P^m$ [3].

С другой стороны, усиление диффузионных процессов влечет за собой и переброску продуктов завершенного процесса окисления. Появление инертных компонентов в среде окисления в определенной степени снижает химическую активность среды. Это хорошо согласуется с более активным снижением скорости распространения пламени при обеднении смеси и ее стабилизации при использовании более богатых смесей.

Исходя из представленной схемы механизма протекания процесса горения в турбулентной среде, скорость перемещения зоны пламени будет определяться согласно складывающейся зависимости

$$u_T \approx u_n + c \left(P^m e^{\frac{E}{RT_z}} \cdot w' l_T \right) = u_n + P^m e^{\frac{E_{ak}}{\mu RT_z}} C_1 \frac{w_{cm.b.p.} D_u \rho_{cm}}{0,52810^{-7} T_{cm}} (1 + \sigma_{em}), \quad (5)$$

где $w_{cm.b.p.}$ – скорость смеси после внезапного расширения в цилиндре (м/с),

$$w_{cm.b.p.} = w_{cm.bn} \cdot (1 - \zeta_{e.p.}) = \frac{S_n \cdot n}{30} \cdot \frac{D_u^2}{d_{e.n.}^2} \cdot \frac{\varepsilon - \frac{P_r \cdot T_a}{P_a \cdot T_r}}{\varepsilon - 1} \cdot (1 - \zeta_{e.p.}). \quad (6)$$

Скорость турбулентных пульсаций

$$w'_X = w'_Y = w'_Z = \sqrt{(w'_X)^2} = C \cdot \frac{w_{cm.b.p.}}{1,73}, \quad (7)$$

где c – коэффициент пропорциональности, отражающий интенсивность турбулентности;

σ_{em} – коэффициент повышения энергетического состояния заряда и турбулентности на участке сжатия.

Видимая скорость распространения пламени с учетом расширения продуктов сгорания будет определяться как произведение турбулентной скорости – u_T на коэффициент расширения – E_p

$$u'_{nl} = u_T \cdot E_p. \quad (8)$$

Интенсивность выгорания смеси в зоне горения будет определяться мелкомасштабной турбулентностью и скоростью перемещения задней границы зоны горения

$$u''_{nl} = u_{m.m.} = u_n \sqrt{1 + \frac{l_T \cdot w'}{\chi_m}}, \quad (9)$$

где l_T – действующий масштаб турбулентности в соответствии с геометрическими размерами зоны горения

$$l_T = C_m \cdot (\delta_{nl})^{0.55}, \quad (10)$$

где C_m – коэффициент пропорциональности масштаба турбулентности по глубине зоны горения.

Содержание зависимости (10) будет изменяться с учетом текущего состояния, стадии и вида процесса сгорания.

Текущее значение ширины зоны горения определяется как разность пройденного пути на текущий момент передней и задней границ зоны горения

$$\delta_{nl} = l'_{nl} - l''_{nl}. \quad (11)$$

На рисунке 3 представлены контрольные результаты расчетного определения текущих значений видимой скорости перемещения передней и задней границ зоны горения.

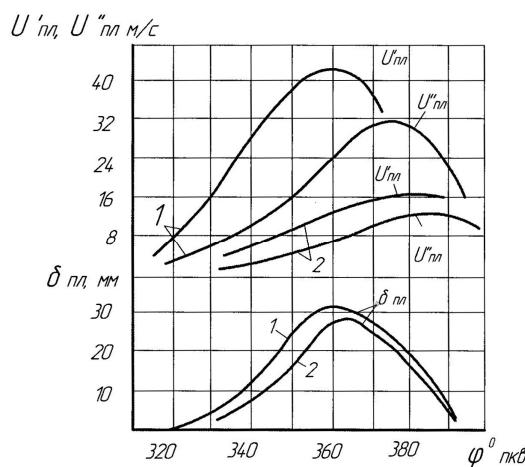


Рисунок 3 – Контрольные результаты расчета скорости распространения пламени и зоны горения. Расчетные режимы: 1) $n = 3500$ мин $^{-1}$; 2) $n = 1500$ мин $^{-1}$, $\alpha = 1$, полный дроссель.

Результаты выполненных расчетов удовлетворительно согласуются с результатами, полученными экспериментальным путем [4].

Список литературы

- Семенов Н. Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. – М.: АН СССР, 1958. – 686 с.
- Соколик А.С. О турбулентном горении газов / А.С. Соколик, В.П. Карпов, Е.С. Семенов // Физика горения и взрыва. – 1967. – № 1. – С. 61-76.
- Карпов В.П. О влиянии давления на скорость ламинарного и турбулентного горения / В.П. Карпов, А.С. Соколик // ДАН СССР. – 1960. – Т.132. – № 6. – С. 1341-1344.
- Егоров А.А. Исследование влияния режима работы двигателя с искровым зажиганием на процесс сгорания / А.А. Егоров, Н.П. Третьяков // Автомобильная промышленность. 1977. – № 9. – С. 7-8.

Получено 10.04.09

ЭОЖ 622.271: (622.682+622.684)

С.С. Құлнияз

КарГМТУ, Караганда қаласы

АВТОМОБИЛЬДІ-КОНВЕЙЕРЛІ ҚӨЛІКТІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІ

Қазу техникалының және технологияның дамуына байланысты өнімділігі жоғары терең карьерлерде ашық тәсілмен кен өндірудің экономикалық пәрменділігін үзілмелі-толассыз технология арқылы жоғарылатуға болады. Қазіргі кезде үзілмелі-толассыз технологияны терең карьерлерде қолдануға толық мүмкіндік бар: қажетті жабдықтарды Ресейдің және алыс шетелдердің фирмалары әртүрлі тау-кен геологиялық жағдайларға сай жасап шығаруда.

Үзілмелі-толассыз технологиядағы құрамалы көліктің өнімділігі, яғни автомобилді-конвейерлі көліктің, бүгінгі таңда жиі қолданылатын автокөлікпен салыстырсақ, 20-25 %-ға жоғары, және көліктің ауысым бойынша пайдалану коэффициенті 85-90 % жоғарылайды. Автомобилді-конвейерлі көлікті пайдалану тәжірибесіне жүгінсек, карьер терендеген сайн тасымалдау жұмыстарының өзіндік құны тек 5-6 %-ға жоғарылайды, ал үзілмелі технологияда тасымалдың өзіндік құны кейде бірнеше есеге өседі.

Ашық тәсілмен кен өндіру кезінде қолданылатын үзілмелі-толассыз технологияның тасымалдау кешендерінің негізгі параметрлерін төмендегі тендеулер арқылы анықтауға болады.

1. Карьердің кен массасы бойынша жылдық өнімділігін орындауға мүмкіндік жасайтын жұмыс режимін және жалпы тоқтауларды ескеретін конвейерлі көліктің сағаттық өнімділігі Q_t (т/сағ) келесі формула арқылы есептеледі:

$$Q_t = \frac{Q_k K_k}{(1 - \sum_{i=1}^m K_i) K_{jc} K_{meh} K_{aulyc} T_k}; \quad (1)$$

мұнда Q_k – карьердің жылдық өнімділігі, т/жыл;

K_k – кен массасының қосы коэффициенті;

K_{jc} – конвейерлі кешенниң жоспарлы жөндеулерін ескеретін коэффициент;

K_{meh} – конвейерлі кешенниң технологиялық жағдайларға байланысты тоқтауларын ескеретін коэффициент;

K_{aulyc} – конвейерлі кешенниң ауысым бойында тоқтаусыз тасымалдау жұмысын ескеретін коэффициент.

Формуладағы коэффициенттер шамасы қолданатын жабдықтардың түріне және атқаратын жұмысының технологиялық сұлбасына байланысты. Конвейерлі кешенниң құрамындағы бөліктердің алдын-ала жоспарлы жөндеу уақыты кешенниң негізгі жабдығын жөндеумен сәйкестеледі. Мысалы, конвейерлі аршу кешенінің құрамындағы негізгі жабдық – үйінділеуіш, ал кен өндіру кешенінің негізгі жабдығы ұсатқыш-қайта тиесу қондырғысы.

Тәжірибеден алсақ, «УкрНИИпроект» институтының деректері бойынша, таспа ені 2000мм, сағаттық өнімділігі 4000 м³/сағ, конвейерлі кешенниң $K_{jc} = 0,81-0,83$ болса, ал ККД-1500/180 маркалы ұсатқышпен жабдықталынған ұсатқыш-қайта тиесу қондырғысының $K_{jc} = 0,9$ болады.

1-кестеде Украинағы Кривой Рог өніріндегі Ингулецкий тау-кен байыту комбинатының карьеріндегі ККД-1500/180 маркалы ұсатқышпен жабдықталынған ұсатқыш-қайта тиесу қондырғысының тоқтауы туралы мәліметтер берілген.

1-кесте

Жабдықтардың жұмыс атқаруы және тоқтауы туралы мәліметтер

| Т/б № | Жабдықтың түрі | Тоқтаусыз жұмыс істеу уақыты, сағ | Тоқтау саны | Тоқтаудың ұзактығы, сағ-мин |
|-------|----------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------|
| 1 | ұсатқыш | 1774 | 17 | 21-46 |
| 2 | 1-ші қоректендерігіш | 2156 | 2 | 0-34 |
| 3 | 2-ші қоректендерігіш | 2127 | 3 | 1-00 |

| | | | | |
|---|---------------|------|----|------|
| 4 | 1-ші конвейер | 1902 | 23 | 4-6 |
| 5 | 2-ші конвейер | 1902 | 22 | 5-56 |
| 6 | 3-ші конвейер | 1902 | 2 | 1-49 |

Конвейерлі кешеннің ауысым бойындағы пайдалану коэффициентінің шамасы, бірінші кезекте тау-кен жұмыстарын ұйымдастыру деңгейімен байланысты.

Технологиялық жобалау нормалары бойынша конвейерлі көлікке тиесілі дайындық-аяқталу операцияларына арналған уақыт шамасы 35 мин-ке, яғни $K_{aуыс} = 0,927$, ал құрамалы автомобилді-конвейерлі көлік үшін $K_{aуыс} = 0,9$ -ға тең.

Конвейерлі кешеннің жалпы жұмысқа дайындық коэффициентінің шамасы $K_o = 0,96-0,99$ аралығында қабылданады.

Тасымалдау кешенінің жұмыс өнімділігіне карьердегі жетек жабдығының, яғни экскаватордың, сағаттық өнімділігі ықпалды әсер етеді. Экскаватордың түрін таңдағанда карьердің кен массасы бойынша жалпы жылдық өнімділігі ескеріледі.

Үзілмелі-толассыз технологияның құрамалы көлік кешеніндегі конвейерлі бөлігінің тасымалдау өнімділігі мен автомобиль көлігінің өнімділігі сәйкес болуы тиіс. Сонымен, алу-тиеу және тасымалдау процестерінің бір-бірімен тығыз байланыстылығы ескеріліп, әр процесте қолданылатын жабдықтардың өнімділігі сәйкес болуы тиіс, яғни $Q_t = Q_y$. мұнда Q_t - толассыз, яғни конвейерлі аралық жүйе;

Q_y - үзілмелі, яғни автомобилді аралық жүйе.

Үзілмелі-толассыз технологияның жобалау және кен өндіру тәжірибесінде толассыз, яғни конвейерлі аралық жүйенің өнімділігі әдеттегідей үзілмелі, яғни автомобилді аралық жүйенің өнімділігінен 15 %-ға жоғары шамада қабылданады. Бұл қағида, тасымал кешенінің құрамындағы жабдықтарға дайындық тұрғысынан қарағанда, әртүрлі деңгейде қойылатын талаптарға байланысты.

Тұрақты кезектілікпен және жабық жүйеде жұмыс атқаратын конвейерлі көлікке, оның сенімді және тоқтаусыз жұмысына, аса жоғары деңгейде талаптар қойылады. Бұндай талаптар жұмысы тәуелсіз жүйе бойынша ұйымдастырылған автомобильді көлікке қойылмайды, жұмыс барысында тоқтап қалған автоөзітүсіргіштің орнына басқа көлік құралы жұмысқа енгізіледі не қалған автоөзітүсіргіштер тасымалдау қарқынын жоғарылатады.

Конвейерлік қондырғыға қойылатын талаптар жоғары дәрежеде, егер экскаваторлармен дайындық коэффициенті бойынша салыстырсақ, конвейерлердің дайындық коэффициенті $K_o = 0,97-0,99$, ал экскаваторлардың дайындық коэффициенті $K_o = 0,86-0,9$.

2. Осыған байланысты Q_t және Q_y өзара сәйкес болу үшін пайдаланатын жүйеаралық коэффициент $K_{ж.а.к}$

$$K_{ж.а.к} = \frac{Q_t}{Q_y} = \frac{K_{n.к}}{K_{n.з}}, \quad (2)$$

мұнда Q_y - үзілмелі бөліктің өнімділігі;

Q_t - толассыз бөліктің өнімділігі;

$K_{n.з}$ - экскаватордың ауысым бойынша пайдалану коэффициенті;

K_t - конвейерлі кешеннің ауысым бойынша пайдалану коэффициенті;

3. Қажетті экскаваторлар саны:

$$N_3 = \frac{Q_{\%}}{Q_3} K_{ж.а.к} \quad (3)$$

4. Қажетті автоөзітүсіргіштер саны:

$$N_a = \frac{Q_a \gamma}{Q_a}, \quad (4)$$

мұнда Q_a – автоөзітүсіргіштердің өнімділігі (т/сағ)

$$Q_a = \frac{G_a}{T_p}. \quad (5)$$

5. Рейс ұзақтығы

$$T_p = t_r + t_{jk} + t_{tys} + t_k, \quad (6)$$

мұнда t_r – жүкті тиеу уақыты;

t_{jk} – жүкпен жылжу уақыты;

t_{tys} – жүкті түсіру уақыты;

t_k – автоөзітүсіргіштің экскаватормен жүк тиеуін күту уақыты.

Конвейерлі көлік тоқтап қалған жағдайдағы автокөліктің жекеленген көлік түрі ретіндегі қолайлы жүкті тасымалдау қашықтығын келесі формула арқылы есептеуге болады:

$$L_r = \frac{1,5 Q_k \eta_{T,k} \left(\frac{120l}{V} + \frac{V_a t_u}{0,81E} + t_r + t_k \right) - \Delta Q_a T_{tys} \left(\frac{V_a t_u}{0,8E} + t_{T,k} \right)}{120 \frac{\Delta Q_a}{\gamma} T_{jk}}, \quad (7)$$

мұнда Q_k – карьердің кен массасы бойынша сағаттық өнімділігі;

γ – тау жыныстарының меншікті салмағы;

Q_a – автоөзітүсіргіштің құрамалы көлік құрамындағы сағаттық өнімділігі;

l – жүкті тасымалдау қашықтығы, м;

V – автоөзітүсіргіштің орташа тасымалдау қашықтығы;

V_a – автоөзітүсіргіш шанағының сыйымдылығы, м³;

t_u – экскаватор циклінің ұзақтығы, мин;

t_k – автоөзітүсіргіштің тиеуді күту және тиеуге орналасу уақыты;

$t_{T,k}$ – толассыз көліктің жыл бойында тоқтау мерзімі;

ΔQ_a – толассыз көліктің тоқтауы мерзімінде автокөлікпен орындалатын жұмыс көлемі;

E – экскаватор шөмішінің сыйымдылығы.

Жыл бойында толассыз көліктің тоқтауы кезінде жинақтау автокөлікпен орындалған қосымша жұмыс көлемі тоқтаулардың мерзіміне және жекеленген сұлба бойынша жүк тасымалдаған автоөзітүсіргіштердің санына байланысты. Егер тек қана бір конвейерлі кешен тасымалдау жұмысын тоқтатса

$$t_{T,k} = T_k (1 - K_n).$$

Конвейерлі кешен тасымалдау жұмысын тоқтатқан жағдайда барлық автоөзітүсіргіштер жекеленген сұлба бойынша қызмет етеді. Карьерде жүк екі конвейерлі кешенмен тасымалданса, біреуі тоқтаған кезде автоөзітүсіргіштердің жартысы жұмыс атқарып жатқан кешенді жүкпен қамтамасыз етеді. Жабдықтардың жұмыс режиміне қарай, екі конвейерлі кешеннің жүкті тасымалдау мерзімі t_6 (сағ) келесі формуламен өрнектеледі:

$$t_6 = T_k (2K_n - 1).$$

Сонда, жыл бойындағы екі кешеннің біреуінің тоқтау мерзіміндегі автоөзітүсіргіштердің тең жартысы жекеленген, яғни карьерлік көлік ретінде қолдану кезінде, конвейерлі кешеннің жылдық тоқтаулар мерзімі келесі өрнекпен жазылады:

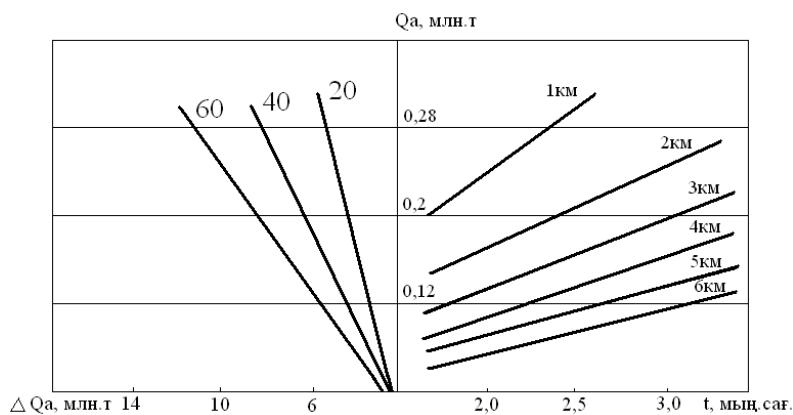
$$t_{\text{т.к}} = T_{\text{ж}} - t_{\text{б}} = 2 T_{\text{ж}} (1 - K_{\text{п}}),$$

мұнда $t_{\text{б}}$ – екі кешеннің бірге тасымалдау уақыты;

$K_{\text{п}}$ – конвейерлі кешеннің уақыт бойынша пайдалану коэффициенті.

Автокөліктің жоспарланған қосымша жұмыс көлемі ΔQ_a белгілі технологиялық жағдайларда орындалады, яғни тасымал қашықтығы белгілі ұзындықтан аспауы және көлік құралдарының саны жеткілікті болуы тиісті.

Кейде тасымалдау қашықтығы не азайып, не жоғарылауы мүмкін, ал нақты карьерлік жағдайда автокөліктің тасымалдау жұмысын тиімді басқару үшін, тасымал қашықтығының ұзындығы өзгермеуі тиіс. Жоспарды жүзеге асыру үшін ішкі автокөлік санымен және конвейерлі кешеннің жұмыс мерзімін ескеріп, тасымалдау қашықтығы арасындағы байланыстық 1-суреттегі график арқылы анықталады.



1-сурет – Жүкті тасымалдау қашықтығы мен көлік құралдары арасындағы жұмыс көлеміне қарай байланыстылық

Осы график арқылы, белгілі автөзітүсіргіштердің қолдану санына қарай, автокөліктің қосымша жұмыс көлемін орындау үшін шектік онтайлы тасымалдау қашықтығы анықталады. Жалпы карьердің тау-кен жұмыстарының жоспарлау графіктері анықталған мәліметтер бойынша жасақталады.

Аралық жүйенің үзілмелі және толассыз бөліктері келесі теңсіздік $Q_{\text{y}} < Q_{\text{t}}$ болған жағдайдағы негізгі параметрлерінің өзара байланыстығын қарастырайық. Бұл арақатынас конвейер түрін таңдағанда болуы мүмкін: егер оның өнімділігі ұсынылған не қабылданған өнімділіктен жоғары болса, не техника-экономикалық жағдайларды ескеріп қабылданса. Конвейердің жоспардан тыс жағдайда тоқтауы кезінде кен массасын карьер маңындағы қоймаға тасымалдамау үшін уақытша қойма қайта тиесу қондырғысының маңында жасалуы мүмкін. Конвейер іске қосылғаннан кейін оның таспасына жүк ұнгубеттен және сонымен бірге уақытша жасалынған қоймадан белгілі мөлшерде тиеледі. Конвейерлі таспаға қосымша тиелетін кен массасын тасымалдау үшін конвейерлі қондырғының асыра өнімділігі келесі теңдікке сай болуы тиіс:

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{ж}} = Q_{\text{car}} - Q_{\text{y}}$$

$$\Delta Q_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{car}} t_{\text{т.к}}}{t_{\text{ж}}}, \quad (8)$$

мұнда $t_{\text{т.к}}$ – жыл бойындағы қайта тиесу қондырғысының жалпы тоқтау мерзімі, сағ;
 $t_{\text{ж}}$ – жыл бойындағы қайта тиесу қондырғысының нақты тасымалдау мерзімі, сағ.

$$t_{\text{ж}} = T_{\text{ж}} \cdot t_{\text{т.к}} \quad (9)$$

Нақты жағдайлар үшін: $t_{\text{ж}} = T_{\text{ж}}(K_{\text{ж}} + K_{\text{мех}} - 1) K_{\delta}$

Сонда

$$\Delta Q_{\text{cae}} = \frac{Q_{\text{ж}} [1 - (K_{\text{ж}} + K_{\text{мех}} - 1) K_{\delta}]}{(K_{\text{ж}} + K_{\text{мех}} - 1) K_{\delta}}, \quad (10)$$

мұнда $Q_{\text{ж}}$ – карьердің жылдық өнімділігі, т/жыл;

$K_{\text{ж}}$ – конвейерлі кешенінің жоспарлы жөндеулерін ескеретін коэффициент;

$K_{\text{мех}}$ – конвейерлі кешенінің технологиялық жағдайларға байланысты тоқтауларын ескеретін коэффициент;

K_{δ} – конвейерлі кешенінің дайындық коэффициенті.

Егер жұмыс режимі бойынша технологиялық тоқтаулар жоспарланбаса, 10-шы формула келесі түрде жазылады:

$$\Delta Q_{\text{cae}} = \frac{Q_{\text{ж}} (1 - K_{\text{ж}} K_{\delta})}{K_{\text{ж}} K_{\delta}}, \quad (11)$$

Сонымен, қайта тиесу қондырғысының маңындағы уақытша қоймадан конвейерлі таспаға қосымша тиелген кен массасының тасымалдануын қамтамасыз ететін толассыз көліктің өнімділігі келесі теңдік арқылы анықталады:

$$Q'_{\text{cae}} = Q_{\text{cae}} + \Delta Q_{\text{cae}}. \quad (12)$$

Карьердің жылдық өнімділігін ескеріп,

$$Q'_{\text{cae}} = \frac{Q_{\text{ж}} K_{\text{ж}} + \Delta Q_{\text{cae}} T_{\text{ж}} K_{\text{н}}}{T_{\text{ж}} K_{\text{н}}}$$

$$Q'_{\text{cae}} = \frac{Q_{\text{ж}} K_{\text{ж}} (1 + \frac{1 - K_{\text{н}}}{E K_{\text{н.э}}})}{T_{\text{ж}} K_{\text{н}}},$$

мұнда E – экскаватор шөмішінің сыйымдылығы, м³;

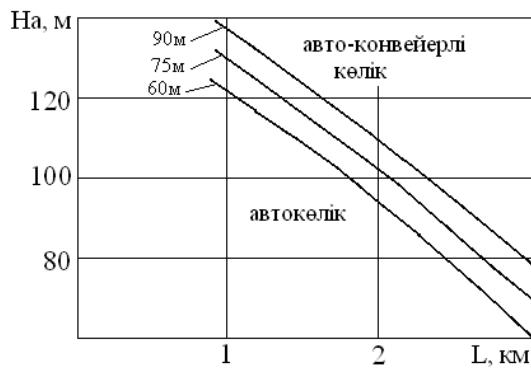
$K_{\text{н.э}}$ – экскаватордың уақыт бойынша пайдалану коэффициенті.

Қайта тиесу қондырғысы маңындағы жасалынатын уақытша қойманың сыйымдылығы:

$$V_{\text{к}} = \Delta Q_{\text{cae}} (t_{\text{т.ж.ж}} + T K_{\delta}),$$

мұнда $t_{\text{т.ж.ж}}$ – конвейерлі қондырғының жоспарлы жөндеуге бірлік тоқтауының мерзімі, сағ;

T – конвейерлі кешенінің нақты жұмыс атқару мерзімі, сағ.



2-сурет – Тасымалдау көлік түріне қарай онтайлы қызмет атқару аймақтары

2-суретте тасымалдау қашықтығына және ұсатқыш қайта тиесу қондырғысының орнын ауыстыру қадамына қарай қайта тиесу қондырғысы маңында жасалған уақытша қоймага тасымалдауда көлік түрін пайдалану аймақтары анықталған. Графиктің төменгі ауданы автокөліктің тиімді тасымалдау аймағын, ал жоғарғы ауданы автомобильді-конвейерлі көлікпен тиімді тасымалдау аймағын анықтайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Васильев М.В. Циклично-поточная технология на карьерах чёрной металлургии СССР // Обзорная информация / М.В. Васильев, А.А. Котяшев, А.И. Павлов и др. – М.: Институт «Черметинформация»., 1984. – 67 с.
2. Котяшев А.А. Развитие циклично- поточной технологии на открытых горных разработках за рубежом // Обзорная информация / А.А. Котяшев, А.И. Павлов, Г.А. Онуфриева. – М.: Институт «Черметинформация», 1989. – 57 с.
3. Мальгин О.Н. Совершенствование циклично-поточной технологии горных работ в глубоких карьерах / О.Н. Мальгин, П.А. Шеметов, В.Т. Лашко и др. – Ташкент: Фан, 2002. – 145 с.
4. Яковлев В.Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров // М.: Тяжелое машиностроение, 2003. – № 3.
5. Орысша-қазақша түсіндірме сөздік / Жалпы редакциясын басқарған А.Д. Бектыбаев. – Алматы: Гылым, 1999. – 295 б.
6. Қазақша-орысша, орысша-қазақша терминологиялық сөздік. – Алматы: Рауан, 2000. – 290 б.

20.05.09 қабылданды

ӘОЖ 622.271: (622.682+622.684)

С.С. Құлнияз

КарГМТУ, Қарағанды қаласы

ҰЗІЛМЕЛІ-ТОЛАССЫЗ ТЕХНОЛОГИЯДАҒЫ АВТОКӨЛІКТІҢ ТИІМДІ ЖҮК ТАСЫМАЛДАУ СҮЛБАЛАРЫ

Құрамалы автомобильді-конвейерлік көліктің автомобильдік бөлігі іс-әрекеті бойынша ұзілмелі бөлігіне, ал конвейерлі бөлігі - толассыз бөлігіне жатады.

Автокөлік карьер нобайында жинақтаушы және үнгубеттегі экскаватор мен конвейерлі қондырғының арасында байланыстыруышы көлік ретінде қолданылады.

Узілмелі-толассыз технологиямен қазымдалып жатқан карьерді шартты түрде «карьер жүйесі» деп белгілесек, ал құрамалы автомобилді-конвейерлі көліктің бөліктерін «аралық жүйе» деп атап болады.

Узілмелі-толассыз технология арқылы қазылып жатқан «карьер жүйесінің» карқындылығы мен тиімділігі аралық жүйелердің өнімділігіне және өзара үйлесімдігіне тығыз байланысты.

Узілмелі-толассыз технологиямен қазымдалып жатқан карьердің өнімділігі Q_k -ға тең болса, жүйенің узілмелі және толассыз бөліктерінің өнімділіктері Q_y және Q_t деп белгіленеді. Узілмелі-толассыз технологиямен кенді қазу кезінде тасымалдау жұмысының біркелкілігі және қарқындылығы, бірінші кезекте, узілмелі аралық жүйенің өнімділігі толассыз аралық жүйенің өнімділігіне тең болуына байланысты. Кейір жағдайларда (технологиялық сұлбалар жоспарланған не жоспардан тыс жөндеуге тоқтатылса), узілмелі аралық жүйенің өнімділігі толассыз аралық жүйенің өнімділігінен жоғары болғанда $Q_y > Q_t$, тасымалдау жүйесі өзінің жұмысын жоспарлы және біркелкі атқара алмайды. Бұндай жағдайда, яғни $Q_y > Q_t$ болғанда, жинақтаушы ішкі карьерлік автокөліктің құрамынан өнімділігі конвейерлі көліктің құрамына тенденс бөлік ажыратылады, яғни $Q_y' = Q_t$, ал автокөлік құрамынан артық қалған автоөзітүсіргіштер карьердің басқа бөлікшелерінде жекеленген автокөлік ретінде қызмет етеді.

Егер $Q_y < Q_t$ болса, кен массасы ұсатқыш қайта тиесу кешенінің жанында орналасқан ішкі қайта тиесу коймасынан тасымалданады.

Сонымен, «карьер жүйесінің» алғашқы сұлбаларынан, яғни ішкі карьерлік автокөлік түрінен карьерлік түріне не жарым-жарты карьерлік түріне ауысуға қажеттілік тууы мүмкін. Жоғарыда қаралған аралық автокөлік жүйесінің сұлбалары көлденең терендептілу не бірбеткейлі бойлық қазу жүйелерінде қолданылады және тау-кен жұмыстары карьер беткейінің ұзындығы мен биіктігі бойынша орындалады.

Автокөлікті жекеленген көлік ретінде карьердің қазу терендігі бойынша қолдану тиімділігі оның қалыптасқан технология және үзілмелі-толассыз технология кезіндегі тасымалдау қашықтықтарына қарай қаражат шығындарын салыстыру арқылы анықталады.

Терен карьерлерде автокөлікпен орындалатын тасымалдау жұмыстары сипаттамасы бойынша екі түрлі болады:

- карьерлік тасымалдау;
- ішкі карьерлік тасымалдау (жинақтаушы).

Карьерлік жүк тасымалдау карьердің жұмыс аймағынан оның маңындағы кен қоймаларына және үйінділерге жүкті тасымалдаумен сипатталады. Карьерлік жүк тасымалдауда, әдеттегідей, теміржол, автокөлік және конвейерлі көліктер түрі қолданылады, кейде айтылған көліктегі түрінен жасақталынған құрамалы көлік пайдаланылады.

Ішкі карьерлік жүк тасымалдау тек қана карьердің жұмыс аймағында орындалатын тасымалдау жұмысымен шектеледі, яғни кен массасы үнгубеттегі карьер нобайында орналасқан жүк қабылдау орындарына және басқа қабылдаушы қондырғыларға тасымалданады. Ішкі карьерлік жүк тасымалдау көбінесе автокөлікпен орындалады. Жоғарыда айтылған терен карьерлердегі негізгі тасымалдау жұмыстары бір-бірінен тасымалдау қашықтығымен, тасымалдау жолының орналасу орнымен, жол коммуникацияларының өрлеу шамаларымен ажыратылады.

Карьерлік жүк тасымалдауда және жинақтаушы көлік ретінде қолданылатын автокөліктің жұмыс атқару жағдайларының өзгеше ерекшеліктері бар. Бұл ерекшеліктер тасымалдау жолының сипаттамасына байланысты.

Автокөлік, әдеттегідей, тереңдігі орташа және терең карьерлерде жиі қолданылады, бірақ тасымалдау қашықтығы ұлғайған сайын оның тиімділігі төмендейді, шығындар өседі. Автокөліктің тиімділігі карьердің тереңдеуіне байланысты да азаяды, ал терең карьерлерде автомобильді-конвейерлік көліктің экономикалық пәрменділігі жоғарылады.

Жеке автокөлікпен және құрамалы автомобильді-конвейерлі көлікпен жүк тасымалдау кезіндегі шығындар көлемі теңестірілген жағдайдағы карьердің тереңдігі тасымал жұмысының аймағын шартты түрде екі бөлікшеге ажыратады: жоғарғысы – жекеленген автокөлікпен тасымалдауға тиімді аймақ, ал төменгісі – автомобильді-конвейерлік көлікпен тиімді тасымалданатын аймақ.

Бұл қағида келесі тәндік арқылы бейнеленеді:

$$K_a = K_{a,k},$$

мұнда K_a – келтірілген жеке автокөлікпен тасымалдау шығындары;

$K_{a,k}$ – келтірілген автомобильді-конвейерлі көлікпен тасымалдау шығындары.

$$K_a = \left(\frac{h_a K_\partial}{2i} + l_a \right) C_a; \quad (1)$$

$$K_{a,k} = \left[\frac{h_a}{2} + (h_k + h_a) \right] \frac{K_p}{i} C_{jk.a} + \left(\frac{h_k}{\sin \alpha} + l_k \right) C_k; \quad (2)$$

$$h_a = \frac{\frac{h_k K_p}{i} C_{jk.a} - l_a + C_a + \left(\frac{h_k}{\sin \alpha} + l_k \right) C_k}{(C_a + C_{a,k}) \frac{K_p}{i}}, \quad (3)$$

мұнда h_a – автокөлікпен карьерлік жүкті тасымалдаудың тиімді тереңдігі;

h_k – ішкі карьерлік қайта тиеу қоймасының орналасу тереңдігі;

K_∂ – трассаның даму коэффициенті;

i – оржолдың бойлық енісі;

l_a – карьерден үйіндігे дейін автокөлікпен тасымалдау қашықтығы;

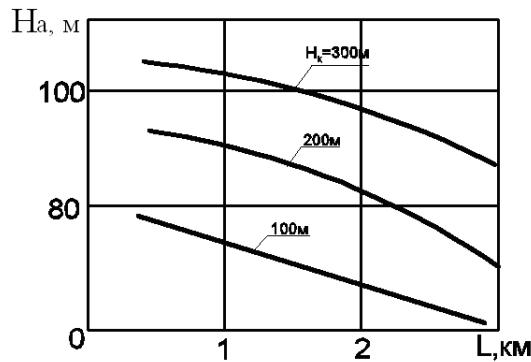
C_a – жекеленген автокөлікпен тасымалдаудың өзіндік құны;

$C_{jk.a}$ – жинақтау автокөлікпен тасымалдаудың өзіндік құны;

l_k – карьерден үйіндігे дейін конвейермен тасымалдау қашықтығы;

α – көтергі конвейердің орнату бұрышы;

C_k – конвейермен тасымалдаудың өзіндік құны.



1-сурет – Узілмелі-толассыз технологиядағы көлікті оңтайлы қолдану терендігі

Автокөлікпен және автомобильді-конвейерлі көлігімен жүкті тасымалдаудың қашықтығын және ұзатқыш қайта тиесу қондырығысының орналасу терендігіне қарай көлікті оңтайлы пайдалану терендігін анықтайтын график 1-суретте бейнеленген.

Графиктегі қысықтарды зерттеу нәтижесінде келесі қорытынды жасалады:

а) карьердің шоғырлану деңгейжиегінде ұзатқыш қайта тиесу қондырығылары тұрақты орнатылып, ал тасымалдау қашықтығы ұлғая берсе, автокөліктің тиімділігі азая береді;

б) ұзатқыш қайта тиесу қондырығысының орналасу терендігі ұлғайған сайын, тасымалдау қашықтығы өзгермесе, автокөліктің тиімді пайдалану көңістігі өседі.

Мысалы, ұзатқыш қайта тиесу қондырығы 150 м терендікте орнатылып, ал тасымал қашықтығы 1 км, 2 км және 3 км болғанда, автокөліктің оңтайлы тасымалдау қашықтығы 74 м, 57 м және 35 м-ге дейін азая береді.

Егер ұзатқыш қайта тиесу қондырығысының орнын 100 м-ден, 150 м-ге не 200 м терендікке дейін ауыстырып тұрсақ, ал жер бетіндегі тасымалдау қашықтығы тұрақты 2 км-ге тен болса, автокөліктің оңтайлы тасымалдау терендігі де соған сәйкес 25 м-ден, 57 м-ге және 88 м-ге дейін өседі.

Ұсынылған әдістеме бойынша конвейерлік көліктің не карьерлік автокөліктің бір бөлігі тоқтап қалғанда ішкі карьерлік автокөліктің оңтайлы жұмыс атқару сұлбаларын анықтауға мүмкіндік туады.

Аралық жүйелер $Q_y > Q_t$ болған жағдайдағы көлік түрлерінің негізгі параметрлерінің өзара байланыстығын және автокөліктің технологиялық сұлбасын анықтайық. Қарастырылып отырған жағдай, яғни $Q_y > Q_t$, конвейерлі кешендерді таңдағанда кездеседі, олардың жалпы өнімділіктері карьердің жылдық өнімділігін қамтамасыз ететін қажетті сағаттық өнімділікten аз болады. Бұл жағдайда аралық жүйе келесі түрде бейнеленеді: $Q'_y = Q_t$ және қалған жұмыс көлемі $\Delta Q = Q_y - Q_t$ ішкі карьерлік автокөлікпен не жұмысқа енгізілген жеке карьерлік автокөлікпен қосымша тасымалдануы мүмкін.

Узілмелі-толассыз технологияның құрамалы көлігінің конвейерлі бөлігі тоқтап қалған жағдайда, жыл бойындағы тоқтауларды ескеріп, автокөлік бөлігі жекеленген көлік түрі ретінде орындаған жұмыс көлеміне қарай жалпы толассыз көлік тоқтаулары мерзімінде келесі жұмыс көлемі орындалуы мүмкін:

$$\Delta Q_a = Q_a N_a, \quad (4)$$

мұнда Q_a – конвейерлі кешен тоқтағандағы автокөліктің жеке көлік ретінде пайдаланылған кезіндегі жылдық өнімділігі;

N_a – автоөзітүсіргіштер саны.

$$Q_a = \frac{60q_a k_{\text{ж}} t_{\text{т.к}} K_{\text{ауыс}} K_{\delta \cdot e} K_{\delta}}{T_p}, \quad (5)$$

мұнда q_a – автоөзітүсіргіштің жүккөтергіштігі;

$K_{\text{ж}}$ – автоөзітүсіргіштің жүккөтергіштігінің пайдалану коэффициенті;

T_p – рейс ұзактығы;

$K_{\text{ауыс}}$ – автоөзітүсіргішті ауысым мерзімінде пайдалану коэффициенті;

$K_{\delta \cdot e}$ – автокөліктің тасымалдау жұмысының біркелкі еместігін ескеретін коэффициент;

$t_{\text{т.к}}$ – толассыз көліктің жыл бойында тоқтау мерзімі;

K_{δ} – автоөзітүсіргіштің дайындық коэффициенті.

$$T_p = \frac{2l60}{V_{\text{опт}}} + \frac{V_a t_u}{0,81E} + t_r + t_{\delta}, \quad (6)$$

мұнда l – жүкті тасымалдау қашықтығы, м;

V – автоөзітүсіргіштің орташа тасымалдау қашықтығы;

V_a – автоөзітүсіргіш шанағының сыйымдылығы, м^3 ;

t_u – экскаватор циклінің ұзактығы, мин;

t_{δ} – автоөзітүсіргіштің тиеді күту және тиеге орналасу уақыты;

t_r – автоөзітүсіргіштің жүкті түсіру уақыты, мин;

E – экскаватор шемішінің сыйымдылығы.

Автомобилді-конвейерлі көліктегі жұмыс істейтін автомобиль саны келесі формула арқылы есептеледі:

$$N_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{ж}} \gamma}{Q_a}, \quad (7)$$

мұнда $Q_{\text{ж}}$ – карьердің кен массасы бойынша сағаттық өнімділігі;

γ – тау жыныстарының меншікті салмағы;

Q_a – автоөзітүсіргіштің құрамалы көлік құрамындағы сағаттық өнімділігі.

$$Q_a = \frac{60V_a K_{\delta \cdot e}}{T_{p,\delta}}, \quad (8)$$

мұнда $T_{p,\delta}$ – автоөзітүсіргіштің карьер нобайындағы қайта тиеге қоймасына жасайтын рейс ұзактығы.

Әдебиеттер тізімі

1. Васильев М.В. Циклично-поточная технология на карьерах чёрной металлургии СССР // Обзорная информация / М.В. Васильев, А.А. Котяшев, А.И. Павлов и др. – М.: Институт «Черметинформация». 1984. – 67 с.
2. Котяшев А.А. Развитие циклично- поточной технологии на открытых горных разработках за рубежом / А.А. Котяшев, А.И. Павлов, Г.А. Онуфриева // Обзорная информация. – М.: Институт «Черметинформация», 1989. – 57 с.
3. Мальгин О.Н. Совершенствование циклично-поточной технологии горных работ в глубоких карьерах / О.Н. Мальгин, П.А. Шеметов, В.Т. Лашко и др. – Ташкент: Фан, 2002. – 145 с.
4. Яковлев В.Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров. – М.: Тяжелое машиностроение, 2003. – № 3.
5. Орысша-қазақша түсіндірмे сөздік / Жалпы редакциясын басқарған А.Д. Бектыбаев. – Алматы: Фылым, 1999. – 295 б.
6. Қазақша-орысша, орысша-қазақша терминологиялық сөздік. – Алматы: Рауан, 2000. – 290 б.

20.04.09 қабылданды

УДК 631.354.2

С.Н. Куликов, А.А. Жосан
ОГАУ, г. Орел, Россия

С.О. Нукешев
КАТУ им. С. Сейфуллина

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ
КОМБАЙНОВ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМ ПРЕВЕНТИВНОЙ САМОДИАГНОСТИКИ**

За последние два десятилетия произошло значительное усложнение сельскохозяйственных машин. Основанием для этого развития явилась, в частности, потребность современного сельского хозяйства в высокопроизводительных машинах, желание большего комфорта в эксплуатации с повышением информативности о рабочих процессах. Важнейшей целью конструкторов наряду с этим является также повышение экономичности выпускаемых машин.

За предшествующие годы была проведена работа по объединению в одну бортовую сеть электронных систем тракторов или самоходных сельскохозяйственных машин. При помощи данных систем (типа CAN-bus и пр.) все управляемые электроникой агрегаты получили возможность оптимального использования во взаимодействии друг с другом.

Современные системы самодиагностики, активно внедряемые всеми зарубежными производителями в последнее время, помогают поиску неисправностей, регистрируя определенные сбои и ошибки в рабочем процессе, а также их место расположения. Мастеру-ремонтирующему остается только подключить к бортовой сети устройство считывания и обнаружить неисправность. И все равно данные мероприятия обуславливают простой техники и значительные экономические потери, если это происходит в период напряженных уборочных работ.

Очевидно, что наряду с повышением продуктивности машин с их неизбежным усложнением необходимо минимизировать время на поиск неисправностей и организовать такую систему технического обслуживания и ремонта, которая бы подразумевала выполнение всех мероприятий вне сезона уборки, сведя к нулю простой комбайна в рабочее время.

Наиболее перспективным и непрерывно развивающимся направлением в диагностировании машин является на сегодняшний день их самодиагностика. Процессы самодиагностики широко внедряются не только в автомобилях, кораблях и самолетах, но и в оборудовании для авиа- и машиностроения. В авиационной и автомобильной отраслях в последнее время началась также апробация процессов так называемой превентивной диагностики механических компонентов. До сих пор внедрение данных систем ограничивалось немногочисленными дорогими стационарными машинами или летательными аппаратами, чьи аварии вели к серьезным экономическим и иным последствиям или к катастрофам. Например, в настоящее время распространены следующие процессы:

- диагностирование состояния подшипников качения;
- наблюдение за состоянием режущего инструмента;
- непрерывное слежение за состоянием привода летательных аппаратов.

В различных отраслях машиностроения самодиагностика встроена в сложные электронные системы управления. Огромный технологический прыжок наблюдается, конечно же, в автомобилестроении. Подавляющее большинство функций в современных автомобилях выполняется при помощи электронных систем, связанных в единую сеть линиями CAN-bus. Собственно, данные технологии требуют и специального подхода в плане диагностики. Без введения самодиагностики данный технологический прорыв был бы сегодня невозможен.

В современной сложной технике наблюдается стойкая тенденция к переходу диагностических систем от простых следящих, со шкалами и лампами, к системам на основе ЭВМ с возможностью подключения сканеров, диагностических стендов и прочего оборудования. Для показа наиболее важных данных о рабочем процессе машины и возникающих основных неполадках используются графические дисплеи.

Однако сегодняшние концепции развития электронных систем в сельскохозяйственных машинах, в частности, нацелены больше на автоматизацию вождения, рабочих процессов и т.д.

Системы диагностики и технического контроля в комбайнах и тракторах на данный момент призваны, в основном, следить за состоянием рабочих жидкостей, температурой, частотой вращения и функционированием бортовой электросети. Производится сбор и показ данных по этим параметрам, а также регистрация возникающих неполадок в работе.

Абсолютное большинство машин работает вкупе с внешними диагностическими устройствами, для бортовой диагностики в современных мобильных сельскохозяйственных машинах существуют только частичные и разрозненные решения. Тем более не существует содержательной концепции по этому поводу. Немногочисленные устройства «On-Board» диагностики являются лишь частичными решениями, не объединенными в единую сеть.

Превентивная диагностика относится к довольно сложным задачам. При ее технической и технологической реализации она сулит большие положительные результаты в плане повышения работоспособности и надежности машины, однако требует значительного внедрения сенсорной техники и электронных систем, обрабатывающих данные сенсоров. Сложности заключаются также и в том, что об изменении состояния какого-либо машинного компонента от начала его износа до критической границы потери работоспособности известно мало. Также мало известно теоретически и практически о показателях, характеризующих этот износ.

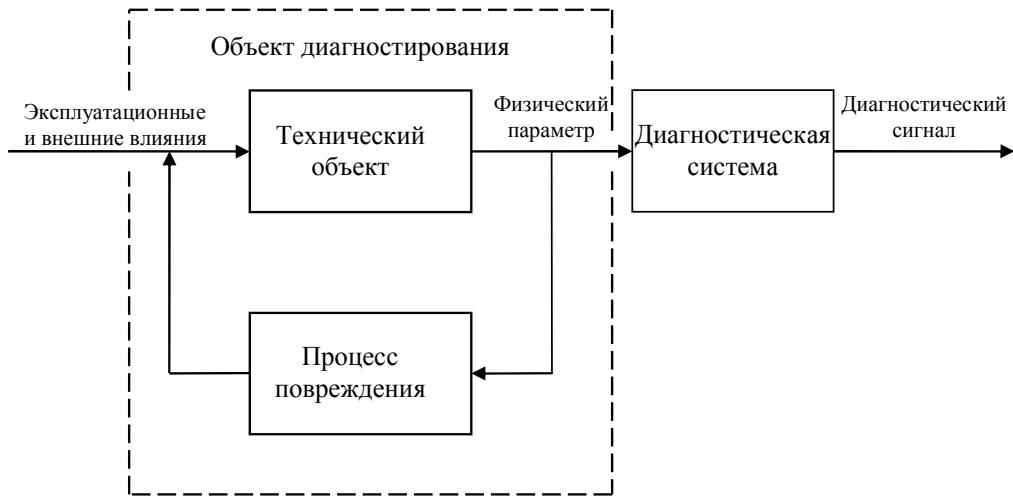


Рисунок 1 – Модель процесса диагностирования объекта

Для определения упомянутых выше показателей следует произвести стендовые испытания выбранных механических компонентов комбайна. Выбор компонентов, нуждающихся в превентивном диагностировании, а следовательно, и в возможных испытаниях, можно произвести на основе публикуемых данных о количестве отказов и ремонтов того или иного узла. После выбора объект диагностики анализируется. Необходимо исследовать, какие эксплуатационные и иные факторы оказывают влияние на его рабочий процесс.

При помощи стендовых испытаний необходимо определить эксплуатационные показатели нового узла после определенного периода приработки. После снятия данных показаний идут последующие испытания. Во время испытаний для выявления типичных неисправностей проводятся симуляция рабочего процесса до выработки ресурса и искусственные перегрузки, удары и прочие факторы внешнего воздействия. При этом непрерывно анализируется, какие эксплуатационные показатели меняются в результате полученных повреждений.

Цель анализа процесса изнашивания детали или узла: выведение из физических параметров (температура, проскальзывание, вибрации и т.д.) диагностических величин, которые могут быть увязаны со степенью износа или повреждения детали.

Превентивное диагностирование предусматривает, в отличие от простого диагностирования, обнаружение возможности какой-либо неисправности еще на ранней стадии ее возникновения. Это делает возможным предотвращение как самого отказа в работе узла в подходящих условиях и в подходящее время, так и предотвращение более серьезных последствий, вызванных этим отказом (например обрыв ремня ГРМ в некоторых двигателях ведет к поломке клапанов и т.п.).

Эксплуатация современных сельскохозяйственных машин предусматривает несколько методов поддержания их в исправном состоянии:

- заявочный ремонт;
- планово-предупредительный ремонт;
- ремонт при условии диагностической концепции.

Заявочный ремонт означает замену уже вышедших из строя детали или узла, планово-предупредительный – замену деталей или узлов, выработавших назначенный ресурс, но

еще не перешедших в неисправное состояние. На данный момент эти две концепции являются преобладающими.

Тем не менее, развитие диагностической техники и технологий делает возможным уже сейчас третий вариант – поддержание машин в исправном состоянии при помощи систем превентивной самодиагностики. Таблица показывает сравнительный анализ трех вышеперечисленных систем.

Из изложенного выше можно сделать вывод, что в процессе развития и совершенствования техники концепция заявочного ремонта должна полностью отойти на задний план и использоваться только для тех узлов, которые мало либо совсем не влияют на безопасность и надежность машины. Экономическая выгода от использования плановой системы тоже сомнительна в связи с необходимостью замены еще вполне работоспособных деталей и узлов.

Диагностическая концепция в этом плане выглядит наиболее привлекательно. Особенno стоит уделить внимание превентивной самодиагностике.

Концепции технического обслуживания и ремонта машин в АПК

| Заявочная | Планово-предупредительная | Диагностическая |
|---|--|--|
| Достоинства | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - малая потребность в специализированных технических средствах, - полнейшая выработка ресурса. | <ul style="list-style-type: none"> - нет необходимости использования диагностической техники, - время обслуживания распланировано, - высокая надежность вследствие своевременного обслуживания, - время готовности определено. | <ul style="list-style-type: none"> - минимизация вероятности внезапного отказа и зависимых отказов, - высокая надежность, - полное исчерпывание резервов ресурса, - время готовности определено. |
| Недостатки | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - высокая вероятность зависимых отказов, - время наступления отказа не определено, - нет возможности точного подсчета амортизационных затрат, - время готовности машины не определено. | <ul style="list-style-type: none"> - нет гарантии от внезапного отказа и последующих зависимых отказов, - запас ресурса детали не исчерпывается до конца. | <ul style="list-style-type: none"> - высокая потребность в диагностических средствах. |

Разумеется, стоит учитывать и экономическую целесообразность внедрения систем превентивной самодиагностики. Абсолютно все детали и агрегаты комбайна или любой другой машины контролировать невозможно и просто невыгодно. Здесь играют роль следующие факторы:

- техническая возможность внедрения диагностической системы;

- необходимость диагностирования.

К техническим возможностям следует отнести:

- доступность объекта диагностирования;
- возможность прямого или косвенного определения эксплуатационных параметров;
- возможность совместного использования уже существующих для других целей датчиков.

Необходимость диагностирования определяется по следующим критериям:

- частота отказов данной детали;
- последствия отказов (возможная опасность для здоровья людей, длительность ремонта, потери урожая, ухудшение условий ремонта, зависимые отказы других частей);
- вероятность отказа.

Количество отказов по узлам комбайнов «Нью Холланд» 2005-2007 года выпуска показано на рис. 2.

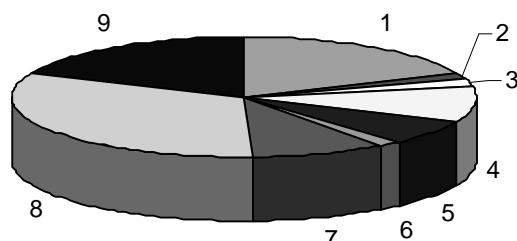


Рисунок 2 – Распределение неисправностей по комбайнам Нью-Холланд: 1) жатка - 16,2 %; 2) молотильный аппарат – 1,7 %; 3) трансмиссия – 2 %; 4) шнек – 3 %; 5) электрооборудование – 5,8 %; 6) гидравлика – 1,7 %; 7) прочие – 8,3 %; 8) подшипники – 28,75 %; 9) ремни – 16,25 %

По данной диаграмме можно сделать предварительные выводы о том, что более всего нуждаются в превентивной диагностике такие узлы комбайна, как ременные передачи и подшипники молотильного устройства. Причинами поломок жатки являются, в основном, внезапные случайные факторы внешнего воздействия, а не износ как таковой. Поэтому, несмотря на большую частоту отказов этого узла, превентивную диагностику здесь проводить нецелесообразно. Аналогично дело обстоит и с электрооборудованием, где механический износ вообще отсутствует.

Очевидно, что в условиях непрерывно увеличивающейся интенсификации производства и конкуренции в современном сельском хозяйстве давно доказана необходимость повышения эффективности использования существующей техники. Основные рабочие процессы в комбайнах остались такими же, что и сто лет назад, однако значительно возросла их точность, гибкость и приспособляемость. Прогрессирует автоматизация процессов. Тем не менее, как и сто лет назад, все упирается в надежность и безотказность. Причем данные факторы должны быть экономически обусловлены. Необходима полная выработка ресурса деталей, точное прогнозирование времени наступления отказа, обеспечивающие наиболее оптимальную и выгодную для владельца работу машины. Без сомнения, одним из решений данной проблемы является превентивная система самодиагностики.

Список литературы

1. Achim Parnow. Erhöhung der Verfügbarkeit von Landmaschinen durch den Einsatz von Diagnosesystemen, Fortschr.- Ber. VDI Reihe 14 Nr.56 Düsseldorf, 1992.
2. Сергеев Г.А. Оценка безотказности базовых машин отечественного и зарубежного производства / Сергеев Г.А., Матвеев А.С. // Тракторы и сельскохозяйственные машины.

– 2006. – № 5.

Получено 20.05.2009

УДК 622.271:622.831

Т.М. Кумыкова
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ГИДРОПНЕВМОАККУМУЛЯТОРА СЖАТОГО ВОЗДУХА**

Эффективным средством стабилизации и повышения давления сжатого воздуха у пневмоприемников признаны гидропневматические аккумуляторы (ГПА), которые возводятся на пути движения сжатого воздуха от компрессорной станции до потребителя. В этом случае подземный пневмоэнергокомплекс включает в себя следующие составляющие: компрессорная станция – шахтные пневматические сети – ГПА – пневмоприемники.

В зависимости от выбранного режима работы ГПА имеется возможность сгладить пиковые нагрузки как на пневмосеть рудника, так и на энергосистему, повысить производительность технологического оборудования с пневмоприводом, экономить электроэнергию на выработку сжатого воздуха.

Обычно для каждого конкретного рудника конструкция и параметры ГПА подбираются индивидуально. Динамизм постоянно протекающих в них процессов и слабая его изученность выдвигают задачу изучения этих процессов как в промышленных, так и, особенно, в лабораторных условиях. Это предопределяет постановку работ по исследованию и установлению режима эксплуатации ГПА сжатого воздуха.

Моделирование нашло широкое применение как метод исследования и расчета многих механизмов и агрегатов, в том числе и гидротехнических сооружений, к которым можно отнести и ГПА. Анализ работы и подбор параметров аккумулятора можно осуществлять с использованием математического моделирования процессов, протекающих в пневмосистеме и ее элементах.

Принцип работы ГПА (рис. 1) заключается в следующем: используются две выработки, расположенные в массиве горных пород на разных геодезических отметках по вертикали, связанные между собой по принципу сообщающихся сосудов. Верхняя выработка 3 (гидрокамера) служит для аккумулирования воды. Нижняя выработка 5 выполняет роль воздухосборника.

Воздух непосредственно от компрессорной станции (КС) по питающему трубопроводу поступает в пневмокамеру 5, а из нее по расходному трубопроводу направляется к потребителю. Пневмокамера перед приемом сжатого воздуха заполняется водой. По мере поступления сжатого воздуха излишний объем воды из нее вытесняется и по соединительной скважине 4 поступает в гидрокамеру. Между гидро- и пневмокамерами образуется столб жидкости, благодаря которому создается гидростатическое давление.

Основные динамические процессы ГПА – переток жидкости из пневмокамеры в гидрокамеру (его зарядка), и переток жидкости в обратном порядке (его разрядка). На эти процессы влияют такие параметры, как давление P и плотность ρ флюидов хранимого продукта, величина уровня поверхности жидкости Z , площадь горизонтального сечения камеры S , время t , ускорение силы тяжести g . Согласно геометрической схеме (рис. 1) процессы, происходящие в ГПА, можно описать с помощью следующих уравнений:

$$P_1 = P_{nc}; \quad P_4 = P_{atm}, \quad (1)$$

$$\vartheta_1 \cdot S_1 = \vartheta_2 \cdot S_2 = \vartheta_3 \cdot S_3 = \vartheta_4 \cdot S_4, \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{\rho_{сж.в} \cdot g} + \frac{\vartheta_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho_{ж} \cdot g} + \frac{\vartheta_2^2}{2g} + Z_2, \quad (3)$$

$$\frac{P_2}{\rho_{ж} \cdot g} + \frac{\vartheta_2^2}{2g} + Z_2 = \frac{P_3}{\rho_{в} \cdot g} + \frac{\vartheta_3^2}{2g} + Z_3, \quad (4)$$

$$\frac{P_3}{\rho_{в} \cdot g} + \frac{\vartheta_3^2}{2g} + Z_3 = \frac{P_4}{\rho_{atm} \cdot g} + \frac{\vartheta_4^2}{2g} + Z_4, \quad (5)$$

$$\frac{dZ_2}{dt} = \vartheta_2, \quad \frac{dZ_3}{dt} = -\vartheta_3, \quad \frac{P_4}{\rho_{atm} \cdot g} + \frac{\vartheta_4^2}{2g} + Z_4 = \frac{P_3}{\rho_{в} \cdot g} + \frac{\vartheta_3^2}{2g} + Z_3, \quad (6)$$

где $\rho_{сж.в}$, $\rho_{ж}$ и $\rho_{в}$ – плотность соответственно сжатого воздуха, жидкости, воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

P_{nc} – давление в пневмосети, МПа;

P_{atm} – атмосферное давление, МПа.

Выражение (2) представляет собой уравнение неразрывности, т.е. закон сохранения массы.

(3) – (5) – уравнения Бернулли [1].

Уравнения (6) отражают в динамике изменение уровней поверхности жидкости.

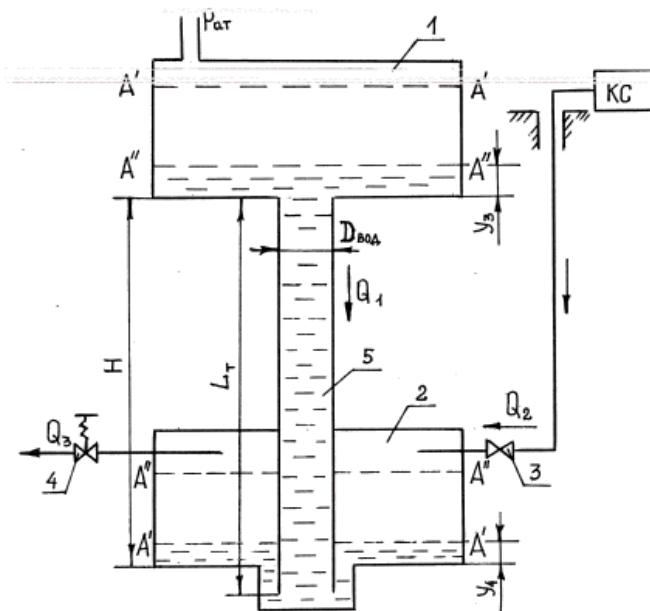


Рисунок 1 – Геометрическая схема гидропневмоаккумулятора сжатого воздуха: 1 – гидрокамера; 2 – пневмокамера; 3 – задвижка на питающем воздуховоде; 4 – запорный клапан на расходном трубопроводе; 5 – соединительный водовод; 6 – задвижка; А'-А' – гидропневмоаккумулятор заряжен; А''-А'' – гидропневмоаккумулятор разряжен

Математическая модель аккумулятора сжатого воздуха строится при следующих условиях: направление движения рабочей жидкости по соединительной скважине вниз принято за положительное, вверх – за отрицательное; нулевой уровень рабочей жидкости

в пневмокамере определен по ее подошве, в гидрокамере и соединительной магистрали – по подошве гидрокамеры. При этом значение уровня рабочей жидкости в гидрокамере и соединительной магистрали положительное, если свободная поверхность рабочей жидкости находится в гидрокамере, и отрицательное – при ее расположении в соединительной магистрали.

Режим совместной эксплуатации аккумулятора с пневмосистемой осуществляется при открытых задвижке 3 и клапане 4. Процессы, протекающие в аккумуляторе в этом случае описываются системой уравнений:

$$\begin{aligned} P_{am} + (L_m + y_3) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6} &= (P_{am} + P_2) + [y_4 + (L_m - H) + h_n] \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6}, \\ V_{ce} &= V_{ce,o} + V_{kc} - V_{nom} - V_{ym}, \end{aligned} \quad (7)$$

где L_m – длина соединительного водовода, м;

y_3 и y_4 – уровни рабочей жидкости в гидрокамере и соединительном водоводе и в пневмокамере, м;

P_2 – избыточное давление сжатого воздуха в пневмокамере, МПа;

H – разность уровней камер аккумулятора, м;

h_n – потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений при движении рабочей жидкости по соединительному водоводу, м;

ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³;

$V_{ce,o}$ и V_{ce} – количество свободного воздуха (приведенного к атмосферному давлению) в пневмокамере в начальный t_0 и рассматриваемый моменты времени t , м³;

V_{kc} , V_{pot} , V_{ut} – количество свободного воздуха соответственно поступившего от компрессорной станции, забранного потребителями и потерянного из пневмокамеры вследствие утечек за время от t_0 до t .

В системе (7) первое выражение представляет уравнение баланса энергии, второе – неразрывности потока.

Из уравнения состояния газа при изотермическом процессе для сжатого воздуха в пневмокамере можно записать

$$V_{ce} = V_{ce,o} \cdot \left(\frac{P_2}{P_{am} + 1} \right), \quad (8)$$

где $V_{ce} = V_2 - V_4$ – объем сжатого воздуха в пневмокамере, м³;

V_2 – объем пневмокамеры, м³;

V_4 – объем рабочей жидкости в пневмокамере, м³.

Интегральные показатели, входящие в систему (7), можно определить из следующих соотношений:

$$V_{kc} = \int_{t_0}^t Q_2 dt, \quad V_{nom} = \int_{t_0}^t Q_3 dt, \quad V_{ym} = \int_{t_0}^t Q_{ym} dt, \quad (9)$$

где Q_2 и Q_3 – объемные расходы сжатого воздуха соответственно по питающему и расходному трубопроводам, приведенные к атмосферному давлению, м³/с;

Q_{ym} – потеря сжатого воздуха из пневмокамеры в единицу времени вследствие утечек, приведенная к атмосферному давлению, м³/с.

Исследованиями доказано, что утечка сжатого воздуха из пневмосети пропорциональна избыточному давлению заключенного в ней воздуха. Можно предположить, что аналогичный характер носит зависимость потерь сжатого воздуха из пневмокамеры. Величина их связана линейной зависимостью с площадью обнаженной поверхности пневмо-

камеры.

Следовательно, потерю сжатого воздуха из пневмокамеры в единицу времени вследствие утечек можно описать выражением

$$Q_{\text{ym}} = \varepsilon \cdot G \cdot P_2, \quad (10)$$

где ε - коэффициент, характеризующий степень герметичности пневмокамеры, м/(МПа·с);

G – площадь обнаженной поверхности выработки пневмокамеры, m^2 .

Потеря напора h_n (м) при движении рабочей жидкости по соединительной магистрали определяется по выражению

$$h_n = \xi_n \cdot \frac{\vartheta^2}{2g}, \quad (11)$$

где $\vartheta = \frac{4Q_1}{\pi \cdot D^2}$ - скорость движения рабочей жидкости по соединительному водоводу, м/с;

$Q_1 = \frac{dV_4}{dt}$ - объемный расход рабочей жидкости по водоводу, $\text{m}^3/\text{с}$;

V_4 – объем рабочей жидкости в пневмокамере, m^3 .

D – диаметр соединительного водовода, м;

ξ_n – полный коэффициент сопротивления соединительного водовода.

Полный коэффициент сопротивления устанавливается по выражению

$$\xi_n = \lambda \cdot \frac{L_m}{D} + \xi_m, \quad (12)$$

где $\lambda = \frac{0,021}{D^{0,3}}$ - коэффициент гидравлических сопротивлений;

ξ_m – суммарный коэффициент местных сопротивлений в водоводе.

Потери напора в трубопроводе от местных сопротивлений можно учитывать методом эквивалентных длин.

Тогда с учетом (12) потеря напора при движении рабочей жидкости по соединительному водоводу определится из выражения

$$h_n = 0,0019 \cdot \frac{L_m \cdot Q_1^2}{D^{5,3}}. \quad (13)$$

Подставив (13) и сделав необходимые преобразования в первом уравнении системы (7) получим

$$\frac{dV_4}{dt} \cdot \left| \frac{dV_4}{dt} \right| = \frac{\left(H + y_3 - y_4 - \frac{10^6 \cdot P_2}{\rho \cdot g} \right) \cdot D^{5,3}}{0,0019 L_m}. \quad (14)$$

С учетом (8), (9) и (10) второе уравнение системы (7) примет вид

$$\frac{dP_2}{dt} = P_2 \cdot \frac{\frac{dV_4}{dt} - \varepsilon \cdot G \cdot P_a}{V_2 - V_4} + P_a \cdot \frac{\frac{dV_4}{dt} + Q_2 - Q_3}{V_2 - V_4}. \quad (15)$$

Уровни рабочей жидкости в гидрокамере и соединительном водоводе y_3 и в пневмокамере y_4 (уравнение (14)) целесообразно выразить через объем рабочей жидкости в пневмокамере V_4 . Эти зависимости могут быть представлены в виде

$$y_3 = f_1(V_4), \quad y_4 = f_2(V_4).$$

В уравнении (15) величина обнаженной поверхности выработки пневмокамеры выражается через объем рабочей жидкости в пневмокамере V_4 . Соотношение этих величин зависит от конфигурации пневмокамеры и может быть представлена как $G=f_3(V_3)$.

В результате анализа динамических процессов, происходящих в ГПА, включенного в состав пневмоэнергокомплекса подземного рудника, получена математическая модель ГПА в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка

$$\begin{aligned} \frac{dV_4}{dt} &= F_1(t, P_2, V_4), \\ \frac{dP_2}{dt} &= F_2(t, P_2, V_4, \frac{dV_4}{dt}, Q_2, Q_3). \end{aligned} \quad (16)$$

Данная модель позволяет моделировать все динамические процессы в ГПА при его эксплуатации.

К ним относятся:

1) переток рабочей жидкости из гидрокамеры в пневмокамеру со сжатием воздуха в пневмокамере:

$$P_{20} = 0; \quad V_{30} \neq 0; \quad V_{40} = 0; \quad Q_2(t) = 0; \quad Q_3(t) = 0,$$

где V_{30} и V_{40} – соответственно суммарный объем рабочей жидкости в гидрокамере и соединительном водоводе и объем рабочей жидкости в пневмокамере в начальный момент времени, м^3 ;

P_{20} – избыточное давление сжатого воздуха в пневмокамере в начальный момент времени, МПа;

2) зарядка аккумулятора от компрессорной станции при отключенной пневмосети:

$$Q_2(t) \neq 0 \quad \text{и} \quad Q_3(t) = 0;$$

3) совместная работа аккумулятора и пневмосети при отключенной компрессорной станции:

$$Q_2(t) = 0 \quad \text{и} \quad Q_3(t) = 0;$$

4) совместная работа аккумулятора, пневмосети и компрессорной станции.

Помимо эксплуатации ГПА в системе пневмоэнергокомплекса исследовался процесс его разрядки в следующем режиме: воздух из пневмокамеры выпускается в атмосферу через задвижку 6 (рис. 1) (задвижки на питающем и расходном трубопроводах закрыты), а освобождающийся объем заполняется рабочей жидкостью, перетекающей из гидрокамеры по соединительному водоводу. Процесс происходит при постоянном атмосферном давлении и, хотя не типичен для эксплуатации аккумулятора, которому свойственно не-постоянство давления сжатого воздуха в пневмокамере при совместном использовании с остальными элементами пневмосистемы, используется на стадии испытаний.

Уравнение баланса энергии в этом случае имеет вид:

$$P_a + (L_m + y_3) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6} = P_a + [y_4 + (L_m - H) + h_n] \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6}. \quad (17)$$

С использованием приведенных соотношений из выражения (17) получим математическую модель рудничного ГПА в режиме разрядки в виде дифференциального уравнения первого порядка

$$\frac{dV_4}{dt} = F_3(t, V_4). \quad (18)$$

Исходная информация представлена параметрами:

- конструктивных характеристик аккумулятора: объем пневмокамеры, разность уровней

камер, диаметр и длина соединительного водовода; суммарный коэффициент местных сопротивлений соединительной магистрали, плотность рабочей жидкости, атмосферное давление в месте расположения камер, коэффициент герметичности пневмокамеры;

- задания начальных условий: время начала моделирования, первоначальный объем рабочей жидкости в пневмокамере, в гидрокамере и соединительном водоводе, первоначальное избыточное давление сжатого воздуха в пневмокамере, первоначальная потеря сжатого воздуха из пневмокамеры из-за утечек;

- управления процессом: время окончания моделирования, первоначальный шаг приращения времени при решении дифференциальных уравнений.

При моделировании первого режима работы аккумулятора (совместной эксплуатации ГПА с пневмосистемой) в таблицах и графиках могут быть выведены временные зависимости: $y_3(t)$, $y_4(t)$, $Q_1(t)$, $V_4(t)$, $V_3(t)$, $P_2(t)$, $Q_2(t)$, $Q_3(t)$, $Q_{yt}(t)$.

При моделировании второго режима (разрядка аккумулятора) выводятся зависимости: $y_3(t)$, $y_4(t)$, $Q_1(t)$, $V_4(t)$, $V_3(t)$.

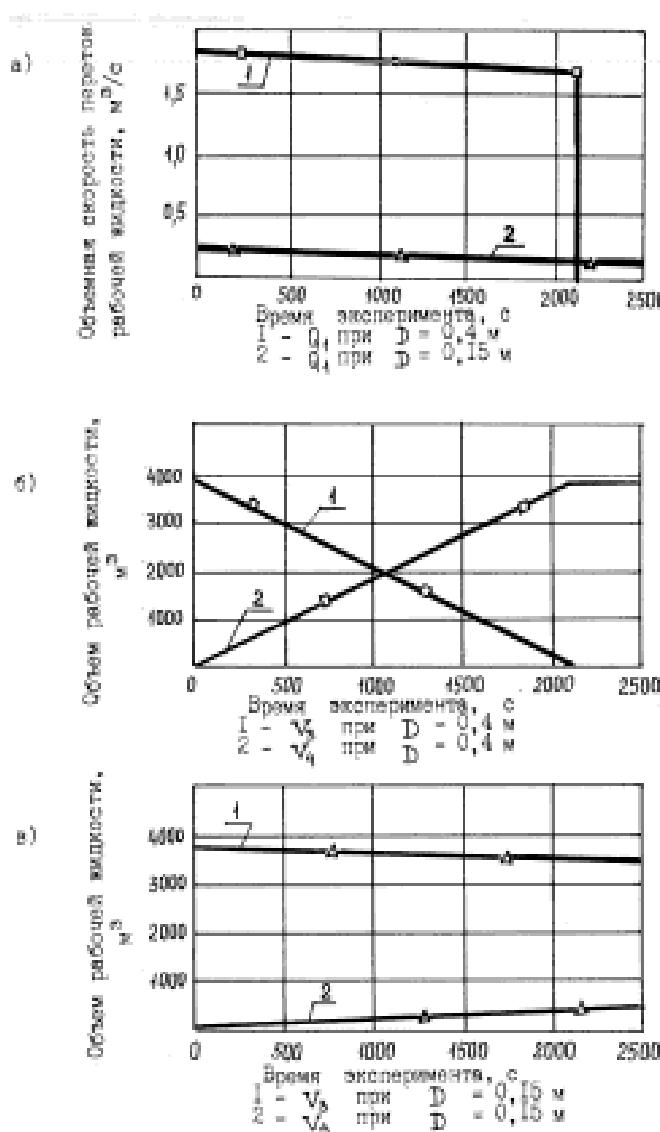


Рисунок 2 – Моделирование перетока рабочей жидкости из гидрокамеры в пневмокамеру со сбросом воздуха в атмосферу

при диаметре соединительной трубы 0,4 м. Начальные условия при моделировании приняты следующие: избыточное давление воздуха в пневмокамере $P_{20} = 0$, объемы рабочей жидкости в пневмокамере $V_{40} = 0$, в гидрокамере и соединительном водоводе $V_{30} = 3900$ м³. Результаты моделирования для данного режима работы ГПА представлены на рис. 3.

Для пневмокамер с арочным сводом, пройденных в крепких породах, смоделирован режим перепуска рабочей жидкости из гидрокамеры в пневмокамеру со сбросом воздуха в атмосферу. Были определены зависимости уровней рабочей жидкости в гидрокамере и соединительном водоводе (y_3) и в пневмокамере (y_4), а также площадь обнаженной поверхности выработки пневмокамеры (G) от объема рабочей жидкости в пневмокамере данной конфигурации. Результаты исследований при объемах гидро- и пневмокамеры по 4000 м³, $V_{30} = 3900$ м³, $H=60$ м представлены на рис. 2. При диаметре соединительного водовода $D=0,4$ м процесс завершается за 36 минут, при $D=0,15$ м – длится более 7 часов.

По представленному графическому материалу можно оценить влияние параметров соединительного водовода аккумулятора на изменение величин Q_1 , V_3 и V_4 во времени.

Аналогичные исследования [2] были проведены при совместной эксплуатации аккумулятора с другими элементами пневмоэнергокомплекса

Анализ результатов моделирования позволяет выделить четыре стадии исследуемого процесса:

- переход системы из неустойчивого состояния, соответствующего начальным условиям, в устойчивое при $Q_2 - Q_3 = 0$. При этом выделяются два периода: время переходного процесса и нахождения системы в устойчивом состоянии;
- переход системы из одного устойчивого состояния в другое: $(Q_2 - Q_3) > 0$. Для этой стадии также характерны вышеуказанные периоды времени;
- третья стадия аналогична второй, но $(Q_2 - Q_3) < 0$;
- если $(Q_2 - Q_3)$ изменяется по синусоидальному закону, то наблюдаются колебания давления сжатого воздуха в пневмокамере.

Выполненные исследования показывают, что в качестве динамических параметров, характеризующих стабилизирующие свойства аккумулятора, можно использовать следующие:

- время переходного процесса от одного уставновившегося режима работы до другого. Таким можно считать режим, при котором давление сжатого воздуха в пневмокамере стабильно или наблюдается его равномерное изменение

$$\frac{dP_2}{dt} = \text{const};$$

- амплитуду колебаний давления сжатого воздуха в пневмокамере при синусоидальном изменении расхода, отражающую качество стабилизации динамической составляющей давления сжатого воздуха;

- время запаздывания колебаний давления сжатого воздуха в пневмокамере относительно синусоидального изменения расхода, являющееся показателем инерционности аккумулятора при динамических воздействиях.

Из результатов исследований следует, что динамические параметры аккумулятора в значительной мере зависят от геометрических размеров соединяющего камеры водовода.

Диаметр водовода, соединяющего гидро- и пневмокамеры, согласно уравнению баланса энергии при совместной работе компрессорной станции, аккумулятора и потребителей сжатого воздуха можно определить по формуле [3]

$$D_{600} = \left(\frac{0,0019 L_m \cdot V_4^2}{t^2 \cdot \left(H + y_3 - y_4 - \frac{10^6 P_2}{\rho \cdot g} \right)} \right)^{0.19} \quad (19)$$

Применение математической модели при разработке аккумулятора сжатого воздуха для пневмосистемы рудника позволяет выбрать конструктивные параметры соедини-

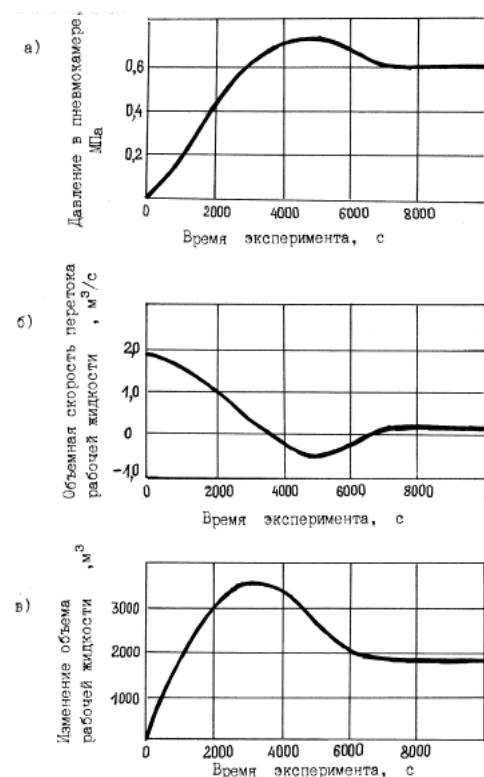


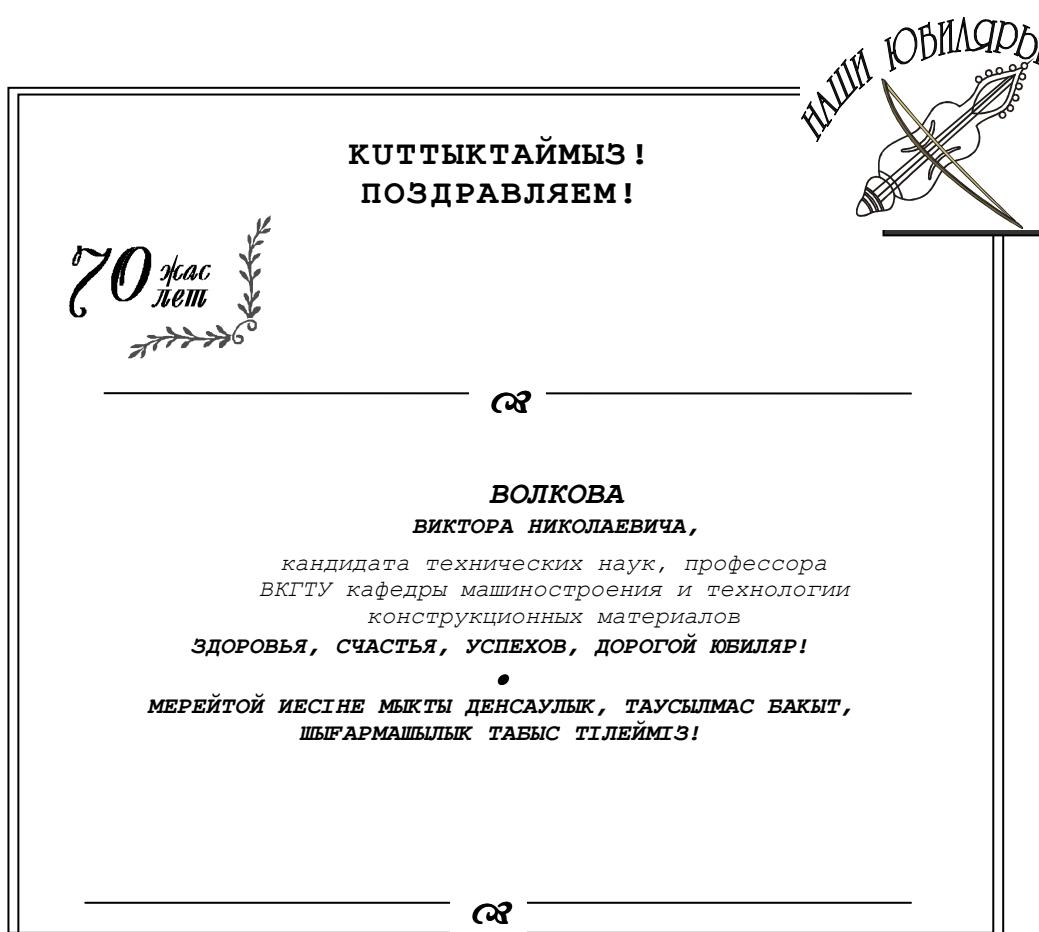
Рисунок 3 – Результаты моделирования режима совместной эксплуатации ГПА с пневмосетью

тельного водовода, отвечающие рациональным значениям динамических характеристик пневмоэнергокомплекса.

Список литературы

1. Цейтлин Ю.А. Пневматические установки шахт /Ю.А. Цейтлин, В.А. Мурзин. - М.: Недра, 1985. - 351 с.
2. Проходов В.В. Оценка динамических параметров аккумулятора сжатого воздуха. Резервы повышения эффективности разработки рудных месторождений // Сб. научн. трудов /В.В. Проходов, Э.Г. Рындин. - Усть-Каменогорск: ВНИИцветмет, 1990. - 175 с.
3. Гидропневматический аккумулятор сжатого воздуха / Кумыкова ТМ., Лисовский Г.Д. - Предпатент КЗ. - № 15534; Бюл. № 3, 2005.

Получено 8.04.09



УДК 621.3

Ю.О. Мартышева, О.А. Науман, И.В. Захаров, Б.Б. Утегулов
ПГУ, г. Павлодар

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЭФФЕКТА В ЛЕНТОЧНЫХ ПРОВОДНИКАХ

В настоящей работе приведены результаты теоретических исследований проявления поверхностного эффекта в ленточных проводниках на основании методики, описанной в [1]. На основе методики расчета коэффициента поверхностного эффекта K_n был создан программный продукт «SKIN 1» (рис. 1), разработанный в среде Borland DELPHI 7 и представляющий собой модуль, компилированный в exe-файл. Программа «SKIN 1» позволила провести исследования K_n в широком диапазоне изменения влияющих факторов.



Рисунок 1 – Исполнительный модуль программы «SKIN 1»

Результаты представлены в виде графических зависимостей: $K_n = f(a/b)$ (рис. 2 \div 4); $K_n = f(f)$ при частоте источника питания 50, 1000, 5000, 10 000 Гц (рис. 5 \div 7); $K_n = f(T)$ при температуре охлаждения проводников 293; 77; 20,4 К (рис. 8 \div 10).

Расчеты показывают (рис. 2), что для проводников с температурой охлаждения 293 К коэффициент поверхностного эффекта K_n не влияет ($K_n \approx 1$) на их суммарное сопротивление при частоте 50 Гц во всем исследуемом диапазоне отношения a/b , при частоте 1000 Гц – при отношении $a/b = 70$ и более, при частоте 5 кГц – при отношении $a/b = 80$ и более, при частоте 10 кГц – при отношении $a/b = 110$ и более.

Для проводников с температурой охлаждения 77 К (рис. 3) K_n не влияет на суммарное сопротивление проводников при частоте 50 Гц во всем исследуемом диапазоне отношения a/b , при частоте 1000 Гц – при отношении $a/b = 100$ ($\approx 1\%$) и более.

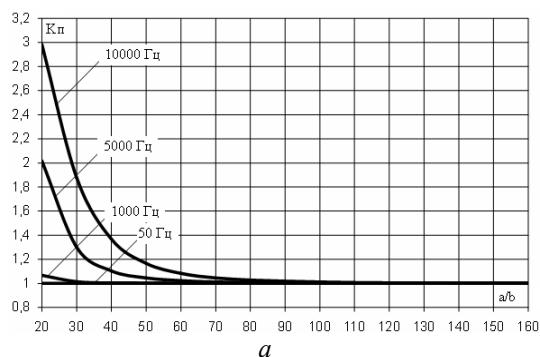
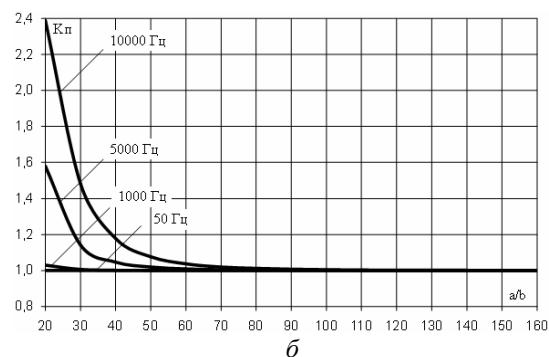


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта K_n от отношения высоты медного (а) и алюминиевого (б) ленточных проводников к их толщине a/b при температуре охлаждения



293 К и различной частоте источника питания

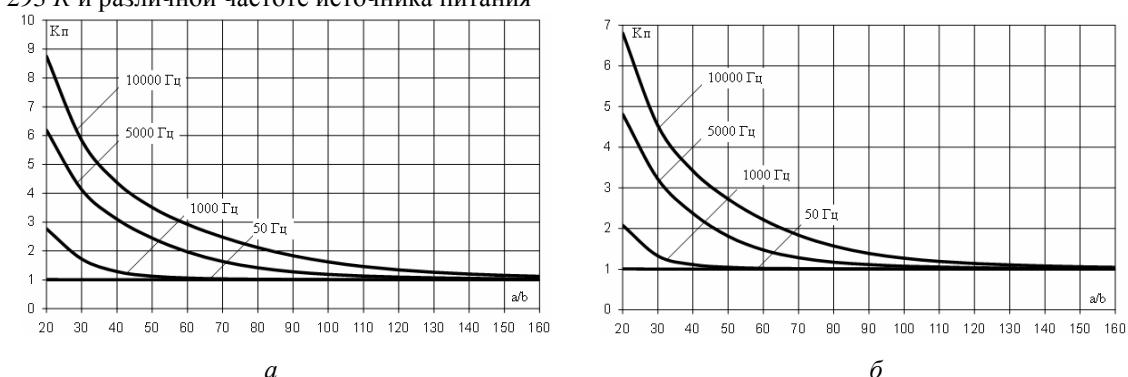


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта K_n от отношения высоты медного (а) и алюминиевого (б) ленточных проводников к их толщине a/b при температуре охлаждения 77 К и различной частоте источника питания

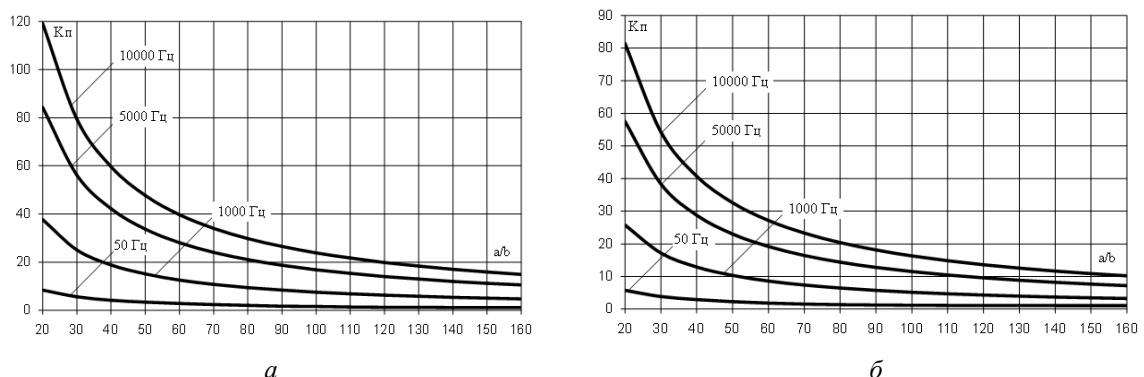


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта K_n от отношения высоты медного (а) и алюминиевого (б) ленточных проводников к их толщине a/b при температуре охлаждения 20,4 К и различной частоте источника питания

Однако при дальнейшем увеличении частоты источника питания при максимальном отношении $a/b = 160$ значение коэффициента поверхностного эффекта K_n составляет при частоте 5 кГц – 3 %, при частоте 10 кГц – 12 %, а для проводников с температурой охлаждения 20,4 К при любом соотношении a/b даже на частоте 50 Гц наблюдается значительное увеличение K_n (рис. 4).

В целом, следует сказать, что с уменьшением отношения a/b K_n возрастает и может достигать, например для $a/b = 20$, двух- и трехкратного увеличения в зависимости от частоты источника питания (рис. 5), 3÷9-кратного увеличения (рис. 6), 40÷120-кратного увеличения (рис. 7). Причем большее значение соответствует более высокой частоте ($f = 10\ 000$ Гц), что хорошо согласуется с общей теорией электротехники.

Из рис. 2 и 3 видно, что сильнее поверхностный эффект проявляется в проводниках с меньшим удельным электрическим сопротивлением. Так K_n в медном проводнике в среднем на 25 % больше, чем в алюминиевом при всех отношениях a/b и частотах выше 50 Гц.

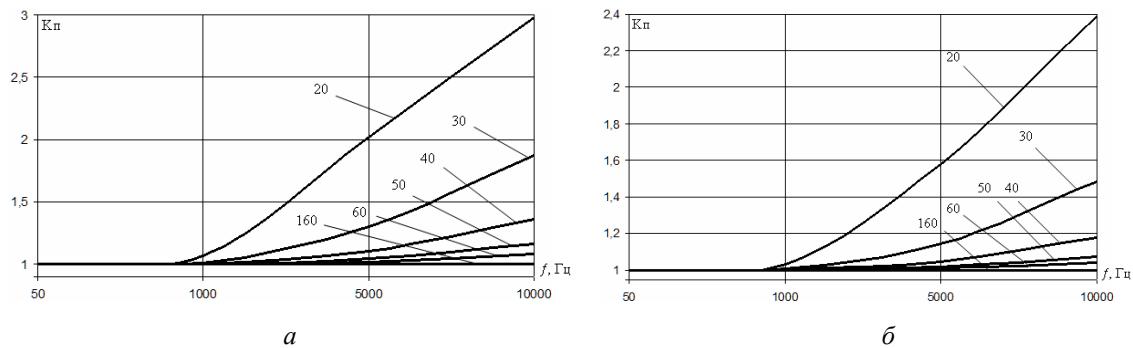


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта K_n от частоты источника питания при температуре обмоток индуктора 293 K и различном отношении высоты медного (a) и алюминиевого (b) ленточных проводников к толщине a/b

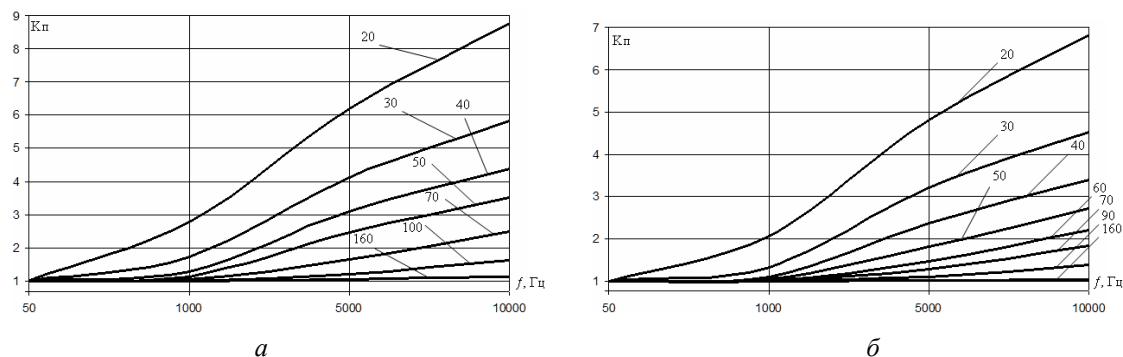


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта K_n от частоты источника питания при температуре обмоток индуктора 77 K и различном отношении высоты медного (a) и алюминиевого (b) ленточных проводников к толщине a/b

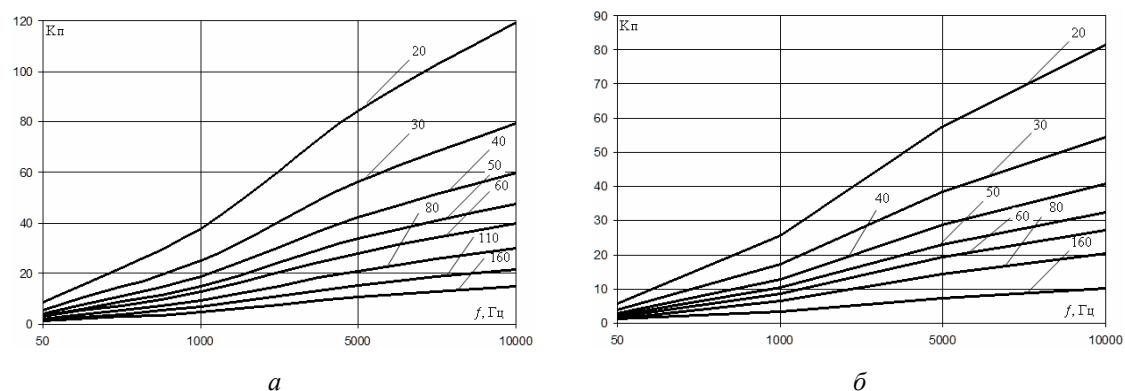
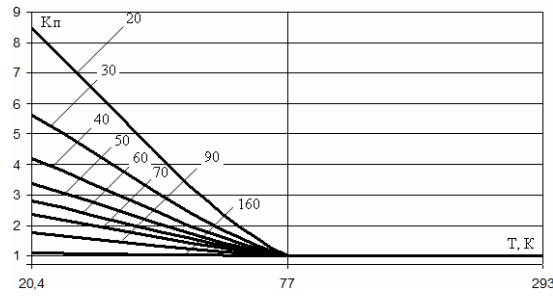


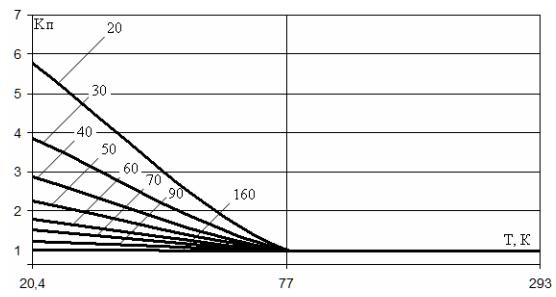
Рисунок 7 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта K_n от частоты источника питания при температуре обмоток индуктора 20,4 K и различном отношении высоты медного (a) и алюминиевого (b) ленточных проводников к толщине a/b

Оценивая степень воздействия на K_n еще более значительного снижения удельного электрического сопротивления проводников ρ , которого можно достичь при использова-

нии более чистого по химическому составу металла (металла с меньшим количеством примесей), а также, что более действенно, при глубоком (криогенном) охлаждении металлических проводников в среде жидких газов с температурой кипения $20\div77\text{ K}$, следует отметить следующее (рис. 8÷10). Если при температуре 293 K , как уже отмечалось увеличение $K_{\text{п}}$ отмечено в 2-3 раза в основном при частоте 5 кГц и более и отношении $a/b = 20$, то при азотном уровне охлаждения проводников замечено увеличение $K_{\text{п}}$ в 3-9 раз в диапазоне частот $5\div10\text{ кГц}$.



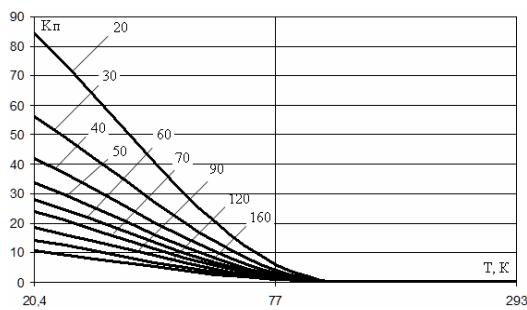
a



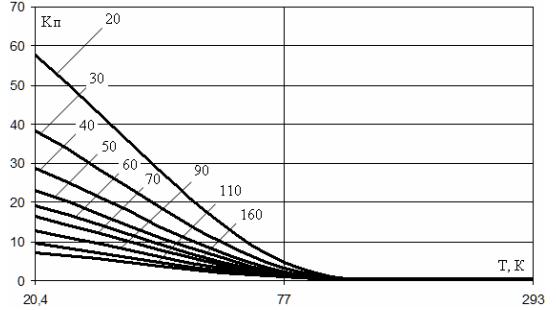
б

Рисунок 8 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта $K_{\text{п}}$ от температуры охлаждения обмоток индуктора при частоте источника питания 50 Гц и различном отношении высоты медного (a) и алюминиевого (б) ленточных проводников к толщине a/b

Особенно существенно увеличение коэффициента поверхностного эффекта $K_{\text{п}}$ в проводниках, охлаждаемых до температуры 20 K . В этом случае даже при частоте источника питания 50 Гц при отношении $a/b = 20$ $K_{\text{п}}$ находится в диапазоне от 5,8 до 8,4 (меньшая цифра соответствует проводникам из алюминия, большая – проводникам из меди). Дальнейшее повышение частоты источника питания приводит к еще большему увеличению $K_{\text{п}}$. Так, при $f = 1\text{ кГц}$ при том же отношении a/b $K_{\text{п}}$ находится в диапазоне от 26 до 37; при $f = 5\text{ кГц}$ $K_{\text{п}}$ – в диапазоне от 58 до 84; при $f = 10\text{ кГц}$ $K_{\text{п}}$ – в диапазоне от 1 до 120.



а



б

Рисунок 9 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта $K_{\text{п}}$ от температуры охлаждения обмоток индуктора при частоте источника питания 5000 Гц и различном отношении высоты медного (а) и алюминиевого (б) ленточных проводников

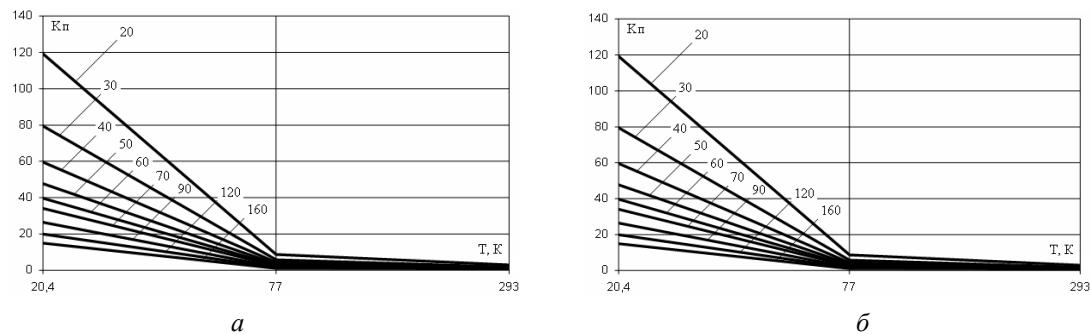


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента поверхностного эффекта K_n от температуры охлаждения обмоток индуктора при частоте источника питания 10 000 Гц и различном отношении высоты медного (а) и алюминиевого (б) ленточных проводников

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Разработан и создан программный продукт (программа SKIN 1), написанный на языке высокого уровня в среде Borland DELPHI 7, позволяющий производить автоматизированный расчёт коэффициента поверхностного эффекта в широком диапазоне влияющих факторов.

2. Теоретические исследования влияния поверхностного эффекта и эффекта близости на суммарное электрическое сопротивление R токоведущего проводника позволили получить следующие результаты:

– получены графические зависимости $K_n = f(a/b)$ и $K_n = f(T)$ при различных f (Гц), T (К), которые можно использовать в инженерных расчётах, в частности при проектировании индукторов с самокомпенсацией реактивной мощности;

– определено, что для проводников с температурой охлаждения 293 К; 77 К коэффициент поверхностного эффекта K_n не влияет ($K_n \approx 1$) на их суммарное сопротивление при частоте 50 Гц во всем исследуемом диапазоне частот. С уменьшением отношения a/b K_n возрастает и может достигать даже при минимальном отношении $a/b = 20$ многократного увеличения в зависимости от частоты источника питания;

– поверхностный эффект проявляется в проводниках с меньшим удельным электрическим сопротивлением (в медном проводнике в среднем на 25 % больше, чем в алюминиевом при всех отношениях a/b и частотах выше 50 Гц);

– при глубоком (криогенном) охлаждении металлических проводников в среде жидкого газа с температурой кипения 20–77 К замечено существенное увеличение коэффициента поверхностного эффекта K_n ;

– с увеличением частоты источника питания проявление поверхностного эффекта усиливается и при температуре охлаждения 20,4 К даже при частоте 50 Гц K_n достигает восьмикратного увеличения.

3. С целью значительного ослабления влияния поверхностного эффекта на суммарное активное сопротивление проводников электротехнического устройства необходимо их толщину принимать соизмеримой с глубиной проникновения электромагнитной волны в материал проводников Δ_s .

Список литературы

1. Мартышева Ю.О. Исследование проявления поверхностного эффекта в ленточных проводниках / Ю.О. Мартышева, И.В. Захаров // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «III чтения Ш. Шокина». – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2008. – С. 154–159.

Получено 11.05.09
УДК 631.319

С.К. Тойгамбаев

МГАУ им. В.П. Горячкина, г. Москва

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГЛУБИНЫ

Система автоматического регулирования глубины (САРГ) обработки почвы предназначена для снижения колебаний сопротивления рабочих органов. Это позволяет перейти на одну, две передачи выше, т.е. повысить скорость движения, додатку ведущих колес, а с ними и производительность на 20...30 % больше по сравнению с высотным и позиционным способами. Система применяется при работе агрегата, в основном на старопахотных землях при работе трактора с плугами.

Система, как и любые АСУ, состоит из источника энергии (ИЭ), органа управления (ОУ), исполнительного механизма (ИМ) и датчиков с обратной связью на орган управления. ИЭ является гидронасос 3 (рис. 1), чаще всего небольшой производительности, работающий параллельно с основным насосом гидросистемы управления механизмом навески. ОУ – золотниковый распределитель 4 с электромагнитными катушками (соленоидами) и электронным управлением и силовые цилиндры 1 и 10.

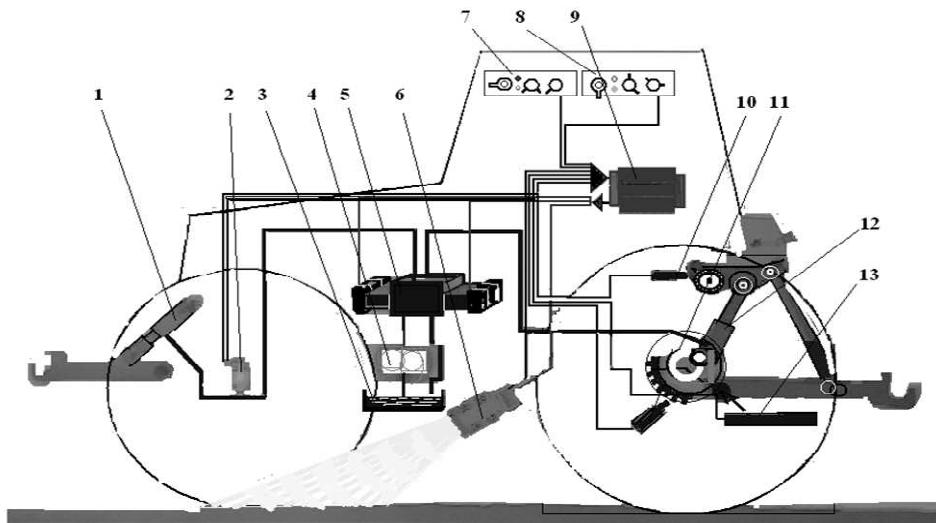


Рисунок 1 - Общая схема САРГ фирмы BOSCH (трактора МТЗ-1222): 1 - передняя навеска; 2 – датчик давления; 3 – бак гидросистемы; 4 – гидронасос; 5 – гидрораспределитель; 6 – радар; 7 – пульт управления (положение нейтраль) гидросистемы; 8 – пульт управления (включено); 9 – ЭБУ; 10 – датчик позиционного регулирования; 11 – датчик скорости колеса; 12 – гидроцилиндр задней навески; 13 – датчик силового регулирования

Датчики: силового регулирования – палец 12 в нижних тягах, работающий на изгиб; позиционного регулирования 10 – поворотный вал механизма навески, определяющий угол положения рычагов навески. Кроме них трактор оборудован датчиками частоты вращения ведущих колес 11 и датчиком скорости движения трактора – ультразвуковым

радаром 6.

Все сигналы поступают в МПСУ 9 (сигналы – черные линии), после обработки команды идут к исполнительным механизмам (красные линии), в первую очередь – к гидрораспределителю. Управление работой механизма навески производится через пульт управления 7 (этот вид пульта при нейтральном положении золотников распределителя – горит красная лампочка). Справа показано положение 8 органов управления того же пульта при включенной гидросистеме – горит зеленая контрольная лампа. Датчик позиционного регулирования контактирует с профильным диском 1 (рис. 2), закрепленным на поворотном валу.

При изменении положения (позиции) орудия относительно корпуса трактора меняется угол расположения нижних тяг, поворачивается поворотный вал, а с ним и профильный диск, который перемещает относительно катушек 6 опору 3 и толкателем, ферромагнитный стержень 7. Это приводит к изменению магнитного поля катушек 6 и возникновению ЭДС. МПСУ принимает, усиливает этот сигнал и дает команду: опустить или приподнять орудие. Таким образом, орудие висит на подушке масла в цилиндре на заданной высоте (глубине). При силовом способе работает система силового регулирования.

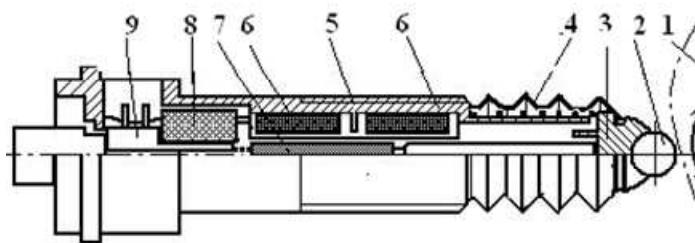


Рисунок 2 – Датчик позиционного регулирования механизма навески: 1 – профильный диск; 2 – шарик; 3 - опора шарика; 4 - защитный чехол; 5 – корпус; 6 – катушки; 7 – ферромагнитный стержень; 8 – электронный модуль; 9 – штекерный разъем

Ее основа – датчик, который замеряет силу тяги P_{kp} . В бугелях 10 (рис. 3) нижних тяг закреплен силоизмерительный палец 4. При действии на него силы тяги (например сопротивление плуга) он изгибаются.

В результате этой деформации изменяется взаимное положение электромагнитных катушек 6. Это приводит к изменению магнитного поля, что вызывает ЭДС. Это изменение передается в виде сигнала в микропроцессор, который дает команду гидрораспределителю слить масло из полости подъема (коррекция на опускание), или подать в гидроподъемник добавочную порцию масла (коррекция на подъем). Орудие постоянно с допуском ± 1 см то выглубляется, то заглубляется. Тем самым поддерживается сила тяги постоянной.

Система может поддерживать смешанный режим (силовой + позиционный способ) регулирования глубины хода рабочих органов с.-х. орудия или машины.

Кроме этих систем типа САРГ, на тракторе имеются электронные системы, дающие возможность работать с максимальной производительностью, или минимальным расходом топлива на гектар. Для определения этих режимов необходимо знать величину буксования ведущих колес. Система определения буксования очень похожа на систему АБС автомобиля. Датчик 11 (рис. 1) – зубчатка с магнитоиндукционным датчиком, определяя-

ет скорость вращения ведущего колеса, радар – скорость трактора, процессор по этим сигналам определяет буксование $\delta = (v_k - v_{tp}) / v_k$. После этого МП дает сигнал водителю, что буксование не соответствует норме. После задающей команды водителя, процессор сам дает сигнал приподнять орудие (уменьшить силу тяги), либо опустить (увеличить силу сопротивления).

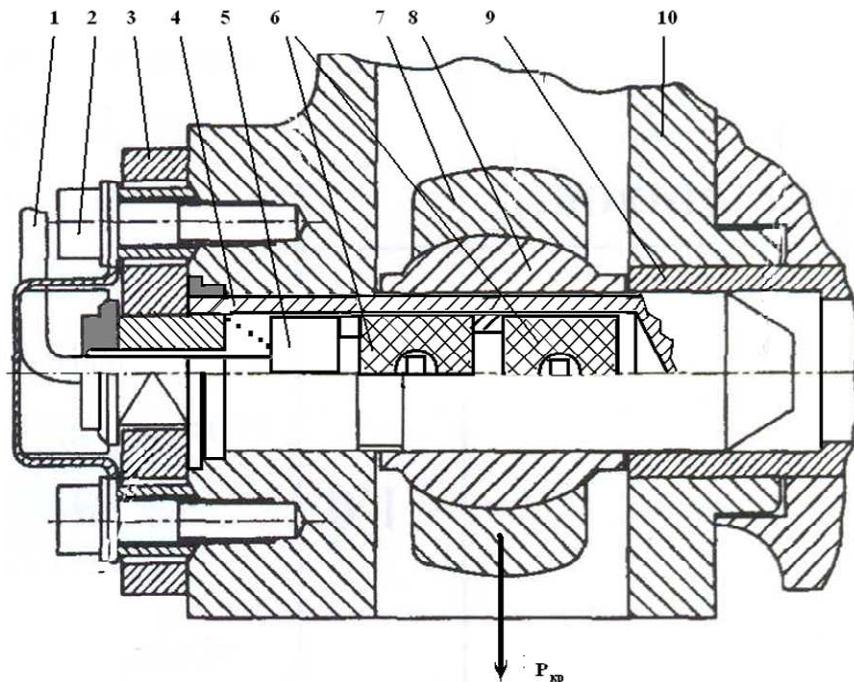


Рисунок 3 – Датчик силового регулирования: 1 – электрокабель; 2 – болт; 3 – крышка; 4 – силовой палец; 5 – электронный модуль; 6 – катушки; 8 – шаровая опора; 9 – опорная втулка; 10 – бугель нижней опоры тяги

Пульт управления электрогидравлических систем значительно отличается от традиционных органов управления. Для опускания и подъема орудия служит рукоятка 1 (рис.4). При подъеме вверх гидросистему можно зафиксировать в транспортном положении рукояткой 2. Рукоятка 5 служит для установки заданной глубины хода рабочих органов орудия. Рукоятка 6 предназначена для ограничения высоты подъема орудия (например при работе опрыскивателями и опрыскивателями).

Рукояткой 10 устанавливают вид регулирования: вверх – позиционный способ, вниз – силовое регулирование, в промежуточном – комбинированный способ. Рукоятка 9 служит для регулировки чувствительности САРГ. Нормой считается воздействие гидравлики на орудие в районе 2 Гц (2 корректировки в сек). Для настройки чувствительности нужно, перемещая рукоятку вверх, постепенно повышать ее, пока система не начнет входить в колебания, т.е. амплитуда коррекции начнет «раскачивать» двигатель. Это можно почувствовать, когда двигатель будет то дымить, выходя на корректорную ветвь, то резко набирать частоту вращения. В этом случае рукоятку перемещают несколько ниже, пока колебания не исчезнут.

Пульт управления установлен в районе правого подлокотника кресла.

Кроме этого фирма BOSCH разработала электронную систему, которая позволяет бы-

стро успокоить колебания резко поднятого из земли тяжелого орудия, создавая навстречу его колебаниям повышение давление масла то в одной, то в другой полости силового гидроцилиндра (демпфирование колебаний поднятого орудия).

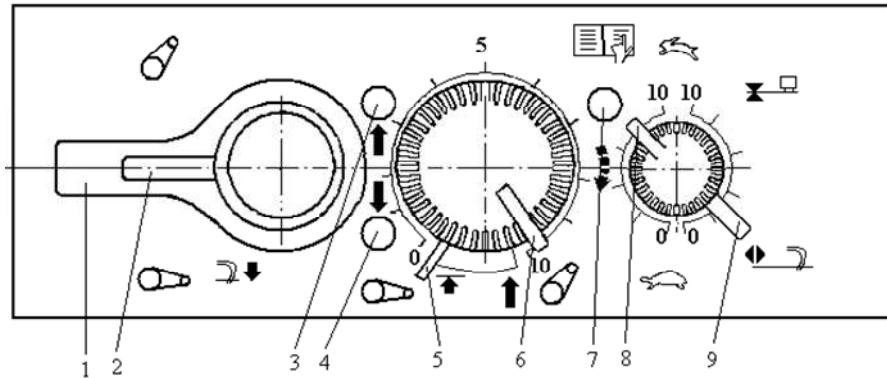


Рисунок 4 – Пульт управления гидросистемой механизма навески (Bosch): 1 – рукоятка подъема и опускания орудия; 2 – рукоятка фиксации рукоятки 1 в верхнем (транспортном) положении; 3, 4 – контрольные лампочки подъема и опускания орудия; 5 – рукоятка настройки глубины хода рабочих органов; 6 – рукоятка ограничения высоты подъема орудия; 7 – контрольная лампочка диагностики; 8 – рукоятка скорости опускания орудия; 9 – рукоятка выбора способа регулирования

На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы:

Более широкое применение автоматических систем управления в сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатах имеет широкие возможности увеличения производительности и экономичности возделывания различных сельскохозяйственных культур.

Получено 19.05.09

УДК 631.31.001.12

С.К. Тойгамбаев

МГАУ им. В.П. Горячкина, г. Москва

С.О. Нукешев

КАТУ им. С. Сейфуллина

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНЫМ АГРЕГАТОМ

При работе МТА возникает два аспекта: обеспечить максимальную производительность, а это уменьшает сроки подготовки почвы, посева, уборки и т.д.; второй – обеспечить минимальный расход топлива на гектар, на тонну продукции. Эти два режима работы обычно не совпадают.

1. Производительность в общем виде выражается формулой:

$$W = B \cdot v \cdot \tau = \kappa P_{kp} \cdot v \cdot \tau = \kappa N_{kp} \tau = \kappa \cdot K_3 \cdot N_{eh} \cdot \eta_T \tau, \quad (1)$$

где B – ширина захвата с.-х. машины;

v – скорость движения МТА;

$\tau = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \dots \tau_n$ – общий поправочный коэффициент, учитывающий τ_1 – полноту

захвата (ширины); τ_2 – недоиспользование скорости движения; τ_3 – учет потерь времени на развороты, на разбивку загонок и т.д., включая время на естественные надобности (завтрак, обед и т.д.);

P_{kp} – тяговое сопротивление;

η_t – тяговый КПД.

Учет ширины захвата особенно сказывается на работе широкозахватных агрегатов. Например, при скашивании зерновых с 8-метровой жаткой тракторист плохо видит как идет правый край жатки. Он вынужден выдерживать запас в 40...50 см, что составляет от 8 метров $\tau_1 = (8 - 0,5) / 8 = 0,937$, т.е. на каждом заходе мы теряем почти 6 % производительности. Вывод: желательно использовать ширину полностью.

Выбор максимально возможной скорости движения (выбор передачи) зависит от агротехнических требований (при междурядной обработке скорость ограничивается сохранением защитной зоны, а это зависит от точности ведения агрегата, и т.д.). Вывод: обеспечить максимальную точность вождения агрегата.

Выбор максимальной скорости зависит также от характера колебаний нагрузки рабочих органов. Например, при пахоте неравномерность нагрузки на крюке при 4-корпусном плуге достигает 30...40 %, т.е. ± 20 % от среднего значения. Из-за этого мы вынуждены использовать двигатель так, чтобы иметь запас мощности двигателя 30...40 %, т.е. коэффициент загрузки двигателя $K_3 = M_k / M_{kh} = 0,6...0,7$. Если учесть, что в тракторных коробках передач переход с одной передачи на другую изменяет скорость и нагрузку на 12...15 %, то мы вынуждены работать на 1...2 передачи ниже желаемой. Вывод: желательно уменьшить колебания нагрузки рабочих органов с.-х. машины.

Выбор рабочей скорости движения во многом зависит от процесса разгона. Чем больше рабочая скорость в конце разгона, тем больше требуется предварительное резервирование мощности двигателя на процесс разгона, тем меньше ее остается на основной процесс работы. Вывод: нужно автоматизировать процесс разгона.

Максимальная скорость во многом зависит от самочувствия тракториста. Это в свою очередь зависит, в частности, от колебаний и вибрации остова трактора. Вывод: нужно уменьшить колебания остова.

2. Второй аспект – работа с минимальным расходом топлива на единицу работы. Расход на единицу площади:

$$Q_{pl} = G_r / W = G_r / \kappa N_{kp} \tau = g / \kappa \tau, \quad (2)$$

где $g_{kp} = G_r / N_{kp}$ – удельный крюковой расход топлива,

$g_{kp} = g_e / \eta_t = g_e / (\eta_{tr} \eta_f \eta_\delta)$, т.е. он зависит не только от режима экономичной работы двигателя g_e , но и от потерь в трансмиссии – η_{tr} , затрат энергии на сопротивление качению η_f и на буксование η_δ . Вывод: нужно обеспечить одновременно работу двигателя на экономическом режиме и с минимальными потерями энергии в тракторе, в основном на буксование.

Если перейти к электронике, точнее – электронным АСУ, тогда, исходя из вышеизложенного, возникает необходимость обеспечения для сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата ряда видов автоматического управления:

- автоматическое изменение скорости движения в зависимости от нагрузки;
- регулирование силы тяги, снижение ее колебательного характера;
- регулирование нагрузки на двигатель, максимально загрузить двигатель;
- обеспечение полной ширины захвата с.-х. машины (орудия);
- автоматическое управление блокировкой колес, мостов;

- устойчивость прямолинейного движения, копирование предыдущей борозды;
- режим работы МТА – либо на максимум производительности, либо на минимум затрат топлива;
- в будущем (как общий результат) автоматическое вождение агрегата.

1. Автоматическое управление скоростью движения определяется типом трансмиссии. Имеются трансмиссии с внутренней автоматичностью (паровая машина, газовая турбина и т.д.), трансмиссии двухпоточные – механическая + электрическая, механическая + гидростатическая. В автомобилях их называют гибридными. Основной поток энергии в них идет через механическую часть (коробку передач), а при перегрузках вступают в работу электромоторы или гидромоторы, добавляя свой момент, чем помогают трактору преодолеть возникшую перегрузку. АСУ включает или выключает, или вращает в обратном направлении один из элементов планетарного механизма, плавно меняет их частоту вращения, что обеспечивает бесступенчатость в определенных диапазонах при ступенчатой механической основной коробке передач.

2. Регулирование силы тяги рабочих органов с.-х. машины (орудия).

Для этой цели используют Систему автоматического регулирования глубины обработки почвы.

Существуют 4 способа регулирования глубины обработки почвы:

1) высотный, 2) позиционный; 3) силовой; 4) комбинированный.

Высотный способ. Глубина хода рабочего органа (плуга, культиватора и т.д.) за счет установки опорного колеса с.-х. орудия поддерживается относительно поверхности почвы («по высоте», рис. 1, а). Полости силового цилиндра гидросистемы соединены – включено «Плавающее» положение.

Позиционный способ. Глубина обработки обеспечивается относительно корпуса трактора (позиции орудия) – орудие жестко соединено с трактором (рис.1, б; угол $\psi = \text{const}$). Опорного колеса нет, орудие «висит на подушке» масла в полости подъема гидроцилиндра – работа в положении «Нейтраль».

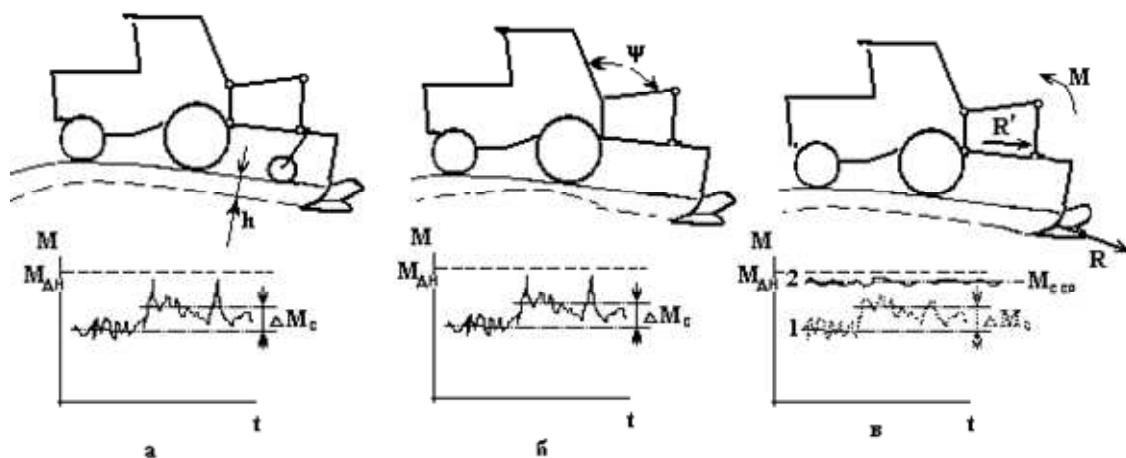


Рисунок 1 – Способы регулирования глубины обработки

Силовой способ. Глубина хода регулируется в зависимости от сопротивления рабочих органов (рис. 1,в) – сопротивление R большое, значит глубина большая – орудие надо приподнять, сопротивление уменьшилось – глубина уменьшилась – орудие надо заглу-

бить. Этим занимается автоматика.

Если в первых двух случаях сила сопротивления орудия имеет значительные колебания, то при силовом способе колебания значительно меньше, можно перейти на высшую передачу, т.е. повысить скорость движения.

Комбинированный способ. Это комбинация 2-х, а то и трех вышеуказанных способов.

Каждый из этих способов применяется в зависимости от вида обработки, консистенции почвы, глубины обработки, конструкции орудия.

АСУ управляет гидросистемой, в основном, при силовом способе. Практически везде для управления гидросистемами сейчас применяют электронные АСУ разработки фирмы BOSCH.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы №

Развитие научно-технического прогресса, удорожание добычи и переработки земных ресурсов ставит перед человечеством вопросы не только облегчения труда человека, но и экономии всех материальных ценностей, увеличение максимального использования ресурсов производства и повышение эффективности использования имеющихся технических возможностей. В этом аспекте более широкое использование Автоматических систем управления является одним из перспективных направлений.

Список литературы

1. Гуревич А.М. Тракторы и автомобили / А.М. Гуревич, Е.М. Сорокин. - 4-е изд, испр. и дополн. - М.: Колос, 1978. - 405 с.

Получено 30.04.09

ПО СТРАНИЦАМ



УЛИЦУ ОСВЕЩАЮТ СОЛНЦЕ И ВЕТЕР

Одна из французских фирм начала выпуск уличных фонарей, работающих от Солнца и ветра. Небольшой ветряк с вертикальной осью, установленный на верхушке фонарного столба, дает до 400 ватт энергии (в зависимости от скорости ветра). Кроме того, на фонаре установлена солнечная батарея. Энергия от этих двух источников запасается в аккумуляторах, которые находятся внутри столба. С наступлением темноты автоматически включается фонарь, состоящий из 42 белых светодиодов, в сумме потребляющих 60 ватт. Срок их службы – сто тысяч часов.

«Наука и жизнь» № 1, 2008

