

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

К.Т.Н. Труханов К.А.  
СКТБ РК, trukhanov@mail.ru

При разработке технологических систем появляется необходимость передавать информацию на значительные расстояния без использования традиционных средств связи ввиду невозможности их применения, например, в области геонавигации при бурении наклонных/горизонтальных скважин. Одним из возможных каналов для передачи информации в данной области является гидравлический канал связи (ГКС). Поэтому в настоящее время задача по разработке эффективного метода и способа передачи информации по ГКС становится актуальной. Целью данной работы стало создание математической модели ГКС для предоставления практических рекомендаций при его использовании в технике для оценки возможности передачи по нему информации без проведения дорогостоящих натурных испытаний. В статье приведена математическая модель ГКС, представляющего собой длинную гидролинию, с учетом граничных условий на его входе и выходе из него. Входное граничное условие представлено поршневым насосом с кривошипно-шатунным приводным механизмом. Выходное граничное условие представлено дросселем – механическим устройством, способным перекрывать проходной канал в гидролинии, тем самым создавая импульсы давления, с помощью которых формируется полезная информация, передаваемая по ГКС. Показана полученная характеристика для относительной мгновенной подачи  $Q$  в зависимости от угла  $\varphi$  поворота вала насоса. Дано соотношение, устанавливающее связь площади открываемых окон дросселя от угла поворота его вала. Рассмотрены два применяемых метода кодирования информации в технологических системах для передачи информации и приведена зависимость для затухания амплитуды сигнала при передаче данных по ГКС. Выполнено математическое моделирование системы с ГКС и описанных граничных условиях. Получен вид импульса давления. По результатам работы были сделаны выводы.

**Ключевые слова:** канал связи гидравлический, модель математическая, гидролиния длинная, генератор импульсов давления

## Введение

В настоящее время активно разрабатываются и исследуются возможность и технические средства для передачи информации в технологических системах на большие расстояния в условиях, где традиционные средства передачи информации не применимы [1]. В современной технике исполнительный гидропривод, как правило, совмещен в одном блоке с управляющим им электрогидравлическим усилителем (ЭГУ) [2, 3]. Данные аппараты, устанавливаемые около регулирующего органа объекта, располагаются в разных его местах и удаленно от формирующего сигналы управления устройства. Чтобы защитить линии связи от воздействия электромагнитных полей и выхода из строя всей системы управления, ранее применялись механические связи, которые не обеспечивали возрастающих требований к точности управления такими объектами, как летательные, самоходные, стационарные наземные аппараты [2]. В связи с этим появились

предложения по применению гидравлического канала связи (ГКС). Необходимость повышения надежности резервирования в современных самолетах больших размеров привела к применению ГКС [4, 5]. Другим примером применения ГКС может служить его использование для средств геонавигации – наклонно-направленного бурения совместно с прибором, способным формировать в нем информацию [6]. ГКС по сравнению с традиционной кабельной системой оказывается на 70–80% дешевле [7].

Однако в ГКС возникают волновые процессы, устранение которых известными методами может отразиться на точности управления силовой частью гидропривода [2]. В связи с этим разработка информационного и управляющего ГКС является актуальной задачей [2, 6, 7].

Целью данной работы стало создание математического аппарата для предоставления практических рекомендаций при использовании ГКС и оценки его технологических возможностей с точки зрения передачи информации.

### 1. Математическое описание системы с гидравлическим каналом связи

В качестве примера технической системы с ГКС рассмотрена схема управления гидропневморессоры (рис. 1).

Для создания быстродействующей системы подпрессоривания необходимо иметь возможность непрерывно отслеживать и корректировать вертикальное положение колес для равномерного распределения нагрузок и увеличения сцепления а/м с дорогой [3, 8, 9]. Информация может собираться, обрабатываться (кодироваться) и передаваться в систему управления по ГКС с помощью генератора импульсов давления [6, 7].

При составлении математической модели данная система может быть сведена к описанию трех объектов (это относится и к любой другой системе с подобной структурой):

- граничное условие: поршневой насос (насосная установка) с аккумуляторным блоком и вспомогательной гидроаппаратурой;
- длинная гидролиния (гидролиния считается длинной, если время закрытия задвижки, установленной на ее выходе, меньше времени распространения удар-

ной волны по гидролинии) ГКС;

- граничное условие – нагрузка: гидравлический привод с ЭГУ.

Принципиальная схема гидросистемы с ГКС приведена на рис. 2.

В состав насосной установки, как правило, входит насос поршневого типа с кривошипно-шатунным приводом. Принципиальная схема механизма насоса приведены на рис. 3. Данный тип насосов используют в настоящее время в химическом производстве, нефтедобывающей промышленности, горном деле, технике высоких и сверхвысоких давлений [10].

Особенность получения рабочей характеристики подачи насоса связана с кинематическими характеристиками приводного механизма насоса. Смещение поршня  $x$  (см. рис. 3), отсчитываемое от крайнего внешнего положения (приняли за положительное направление при ходе нагнетания (вытеснение)), определяется по следующему соотношению [10]:

$$x = R \cdot (1 - \cos \varphi) + L \cdot (1 - \cos \beta), \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривошипа,  $L$  – длина шатуна,  $\varphi$  – угол поворота кривошипа,  $\beta$  – угол отклонения шатуна.

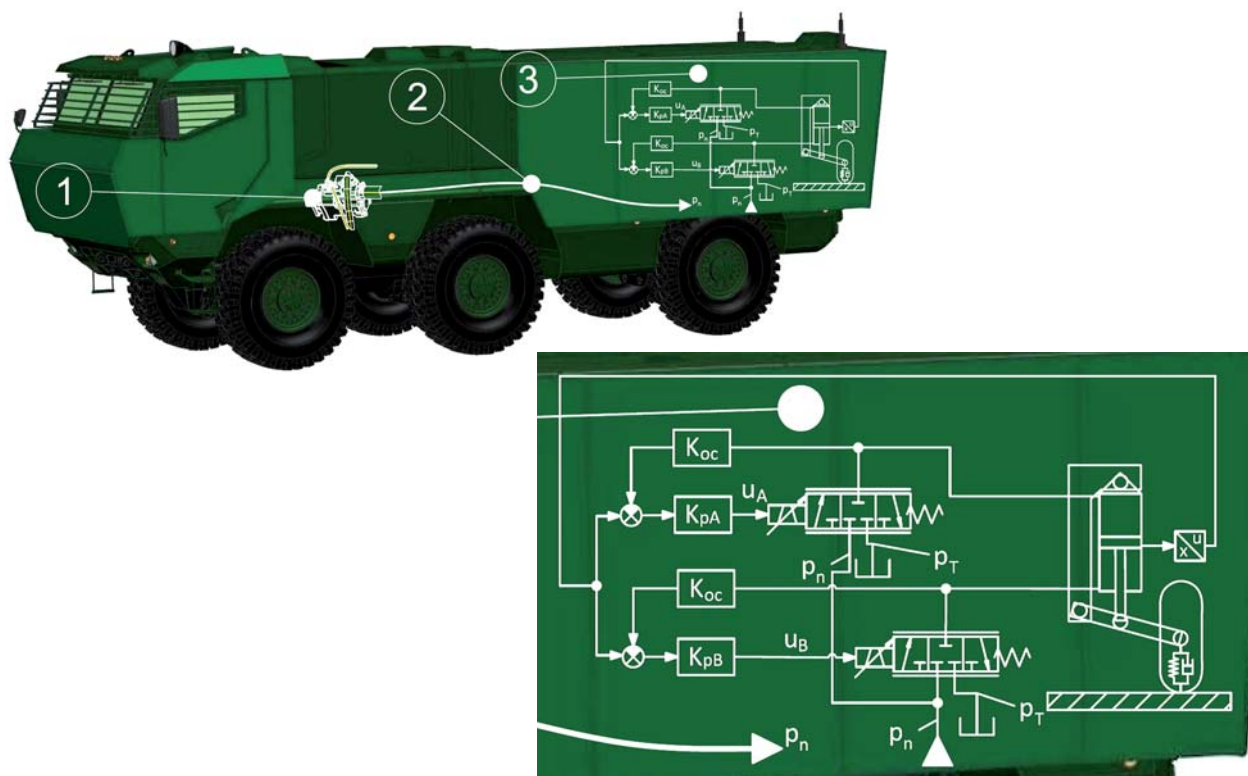


Рис. 1. Структурная схема варианта технической системы с ГКС:

- 1 – граничное условие: поршневой насос с аккумуляторным блоком и вспомогательной гидроаппаратурой;  
2 – длинная гидролиния (ГКС); 3 – граничное условие – нагрузка: гидравлический привод с ЭГУ

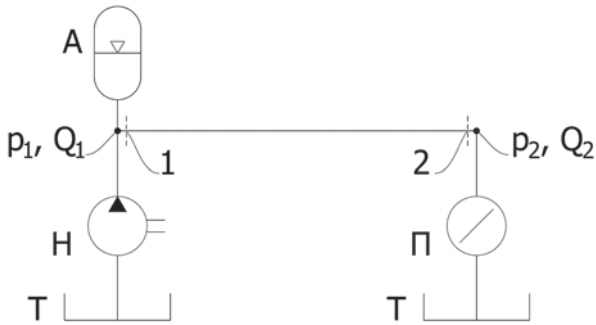


Рис. 2. Принципиальная схема гидросистемы с ГКС:

Т – бак; Н – насос; А – аккумуляторный блок; П – пульсатор (нагрузка) или иной другой элемент гидросистемы, способный формировать импульсы давления в гидролинии; 1–2 – длинная гидролиния или ГКС, точка (1) – вход в длинную гидролинию, точка (2) – выход из нее

Нетрудно показать [10], что

$$x = R \cdot \left[ (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos 2\varphi) \right], \quad (2)$$

т.к.  $\sin \beta = \frac{R}{L} \cdot \sin \varphi$ , введя,  $\lambda = \frac{R}{L}$ , приняв  $\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot (\sin \varphi)^2} \approx 1 - \frac{\lambda^2}{2} \cdot (\sin \varphi)^2$ .

Скорость ( $u_n$ ) и ускорение ( $w_n$ ) поршня можно определить последовательным дифференцированием уравнения (2), полагая скорость вращения кривошипа равномерной  $\omega = d\varphi / dt$ . Согласно уравнению (2), к основной гармонике движения добавляется вторая составляющая, имеющая в  $\lambda$  раз меньшую амплитуду и в 2 раза большую частоту. Влияние этой составляющей уменьшается с увеличением относительной длины кривошипа  $L/R$ . Для рассмотрения кинематических процессов выражения для  $x$ ,  $u_n$  и  $w_n$  заменяют приближенными уравнениями [10]:

$$\begin{aligned} x &= R \cdot (1 - \cos \varphi), \quad u_n = R \cdot \omega \cdot \sin \varphi, \\ w_n &= R \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi. \end{aligned} \quad (3)$$

Учитывая, что подача насоса связана со скоростью поршня ( $u_n$ ), выражение для мгновенной подачи будет [10]:

$$Q_i = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} \cdot u_n = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} \cdot R \cdot \omega \cdot \left( \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin 2\varphi \right), \quad (4)$$

где  $D_n$  – диаметр поршня.

Для насоса с клапанной системой распределения (рис. 3) функция подачи  $Q_i = Q_i(\varphi)$  является прерывистой. Рабочая жидкость вытесняется в напорную линию при  $(k-1) \cdot \pi < \varphi < k\pi$ ,  $k=1, 3, 5$ . При  $k\pi < \varphi < (k+1)\pi$  подача  $Q_i = 0$ . Вследствие этого жидкость поступает в напорную линию неравномерно [10]. Изменение относительной мгновенной подачи  $\bar{Q}$  в зависимости от угла  $\varphi$  поворота вала насоса:

$$\bar{Q}_i = \frac{4 \cdot Q_i}{\pi \cdot D_n^2 \cdot R \cdot \omega}. \quad (5)$$

Графическое представление для  $\bar{Q}_i$  при  $i=3$  (количество секций насоса) приведено на рис. 4.

На рис. 4 показаны отдельно характеристики для каждой секции насоса (верхний график), а также сумма трех характеристик (нижний график). Неравномерность подачи насоса характеризуется коэффициентом неравномерности (пульсации подачи)  $\psi_Q = Q_{imax} / Q_0$ . Для насоса одностороннего действия с тремя поршнями (трехсекционного)  $\psi_Q = \pi/3$  [10]. Пульсация подачи является недостатком гидравлических систем, особенно при использовании ГКС, поскольку в гидролинии возникают нестационарные процессы, вызванные действием

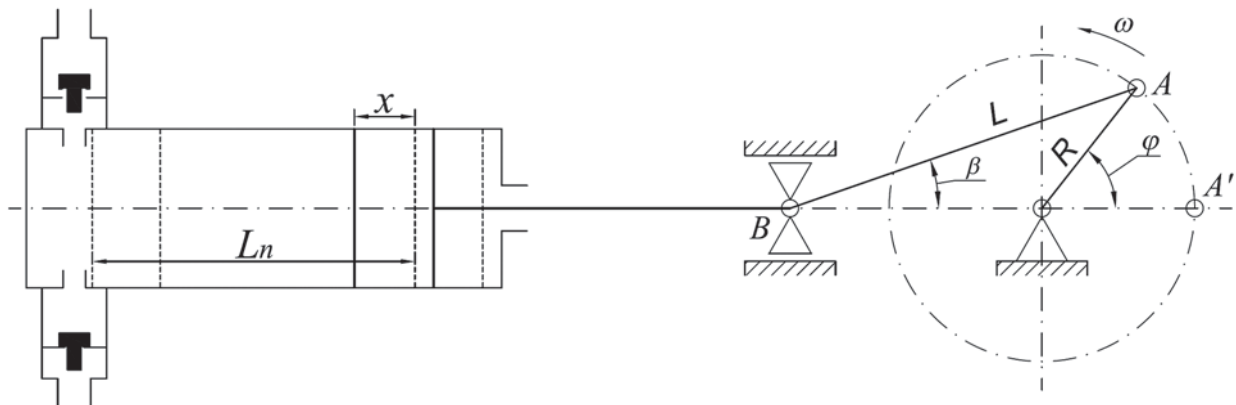


Рис. 3. Принципиальная схема кривошипно-шатунного механизма поршневого насоса [9]

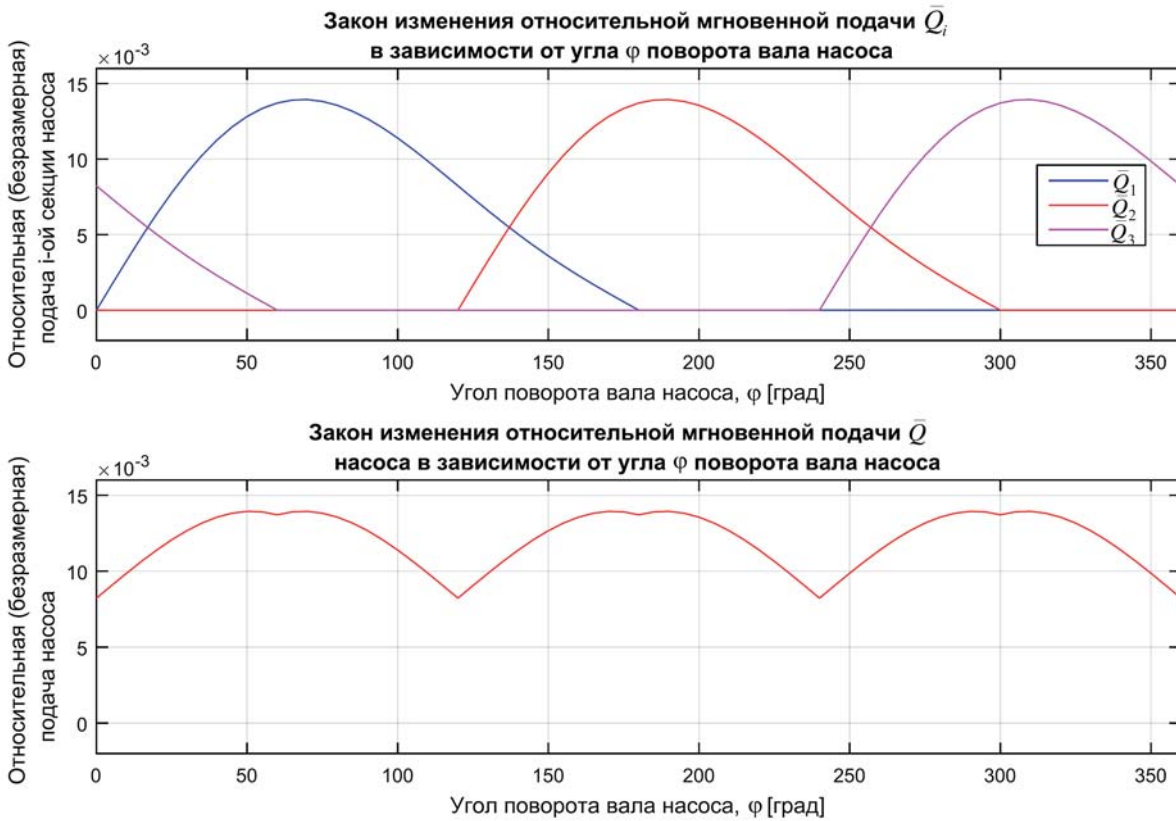


Рис. 4. Изменение относительной мгновенной подачи  $\bar{Q}$  в зависимости от угла  $\varphi$  поворота вала насоса

сил инерции, что негативно сказывается на передаче информации – большие помехи и большее затухание полезного передаваемого сигнала, а также на ресурсе оборудования. При определенных условиях эти процессы делают использование ГКС на таких режимах невозможным. Для устранения данных нежелательных явлений проводят ряд мер, направленных на выравнивание пульсаций подачи, заключающихся в применении аккумуляторных блоков и регуляторов [11, 12].

Математическое описание гидравлической проводки сводится к описанию процессов в длинной гидролинии [11–14]. Нестационарные процессы в длинной гидролинии (ГКС), схема которой приведена на рис. 2, можно описывать с помощью матричного уравнения или так называемого уравнения четырехполюсника [11, 13]:

$$\begin{bmatrix} p_2(s) \\ Q_1(s) \end{bmatrix} = G_n(s) \times \begin{bmatrix} p_1(s) \\ Q_2(s) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где  $p_1, p_2$  – давления в начале и в конце гидролинии, соответственно;  $Q_1, Q_2$  – объемный расход жидкости в начале и в конце гидролинии, соответственно;  $G_n(s)$  – передаточная матрица гидролинии, определяемая в виде:

$$G_n(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\cosh[\vartheta(s) \cdot L]} & -\frac{\vartheta(s) \sinh[\vartheta(s) \cdot L]}{W_{\text{сж}}(s) \cdot A \cosh[\vartheta(s) \cdot L]} \\ \frac{W_{\text{сж}}(s) \cdot A \sinh[\vartheta(s) \cdot L]}{\vartheta(s) \cosh[\vartheta(s) \cdot L]} & \frac{1}{\cosh[\vartheta(s) \cdot L]} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где  $v(s, x) = -\frac{W_{\text{сж}}(s)}{\vartheta(s)} \sinh[\vartheta(s)x] \times \times p_1(s, 0) + \cosh[\vartheta(s)L] v_1(s, 0)$  – изображение по Лапласу средней скорости нестационарного потока по сечению гидролинии;  $W_{\text{сж}}(s)$  – передаточная функция, определяемая как  $s / B_{\text{тр}}$  [11, 13];  $A$  – площадь проходного сечения гидролинии;  $L$  – длина гидролинии.

Уравнение вида (6) с учетом формулы (7) представляет собой уравнение гиперболического типа. Методика аналитического решения данного уравнения приведена в работе [11].

Нагрузкой на выходе из длинной гидролинии при работе ГКС является механическое устройство способное перекрывать проходной канал [6], тем самым создавая импульсы давления, с помощью которых формируется полезная информация, передаваемая по ГКС в систему управления, т.е. наличие высокого уровня давления означает логическую «единицу», от-



существование – логический «ноль». Основные уравнения для расхода жидкости  $Q_n$ , проходящей через окна ротора (золотника) генератора импульсов давления (пульсатора), описывающие нагрузку, следующие [12, 15]:

$$Q_2 = Q_n = \mu_n \cdot A_n \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p_n}{\rho}}, \quad (8)$$

где  $\mu_n$  – коэффициент расхода через открывающиеся окна ротора (золотника) генератора импульсов давления (пульсатора) [6], принципиальная схема расположения ротора (золотника) в процессе работы приведена на рис. 5;  $A_n$  – площадь открываемых окон ротора;  $\rho$  – плотность применяемой рабочей жидкости;  $\Delta p_n$  – перепад давлений рабочей жидкости в ГКС при открытии/закрытии окон ротора (золотника) пульсатора,  $\Delta p_n = p_2 - p_{cl}$ ,  $p_{cl}$  – давление за пульсатором (за золотником).

Нетрудно показать, что площадь открываемых окон ротора будет:

$$A_n = z \cdot A_{окн} = z \cdot \frac{1}{2} \cdot [R_1^2 - R_2^2] \cdot \alpha \Big|_0^{\alpha_{max}} + C_1, \quad (9)$$

где  $A_{окн}$  – площадь одного окна (сектора) золотника;  $R_1$ ,  $R_2$  – наружный и внутренний радиусы окна золотника;  $\alpha$ ,  $\alpha_{max}$  – текущий угол и максимальный угол поворота золотника в радианах (для рассматриваемой конструкции  $\alpha_{max} = \pi/4$ );  $C_1$  – константа интегрирования – площадь предустановленного зазора между ротором (золотником) и статором;  $z$  – количество окон золотника, для рассматриваемого случая  $z = 4$ .

## 2. Формирование сигнала в гидравлическом канале связи

Поскольку ГКС относится к каналам связи с высоким уровнем шума, то наиболее распространенным и применяемым методом формирования и кодирования сигнала является «Манчестерский код», относящийся к самосинхронизирующимся кодам и имеющий два уровня, что обеспечивает хорошую помехозащищенность [7, 16]. В системах с ГКС кодирование информации выполняется перепадом давления, создаваемым перекрытием канала с жидкостью при помощи пульсатора [6]: логическая «единица» – перепад давления от высокого уровня сигнала к низкому, а «ноль» – обратным перепадом. В начале каждого битового интервала может происходить служебный перепад сигнала (при передаче нескольких единиц или нулей подряд) [7, 16].

На рис. 6 верхний график представляет собой последовательные данные нулей и единиц, которые необходимо закодировать и передать, а нижний – информация, закодированная кодом Манчестер.

Наряду с рассмотренным принципом кодирования, применяется и ряд других способов кодирования информации по ГКС [16], одним из таких методов является метод PPM (Pulse Position Modulation или фазово-импульсная модуляция) [17]. В основу данного метода кодирования положен следующий принцип: слово данных в двоичной системе кодируется в интервал времени между двумя импульсами. Иными словами, носителем информации

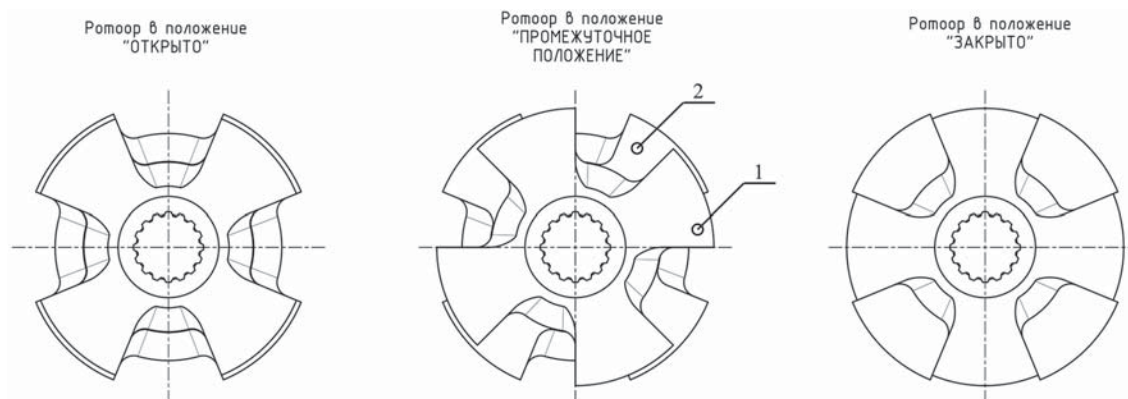


Рис. 5. Принципиальная схема расположения ротора (золотника) генератора импульсов давления в процессе работы:

1 – ротор (золотник); 2 – статор

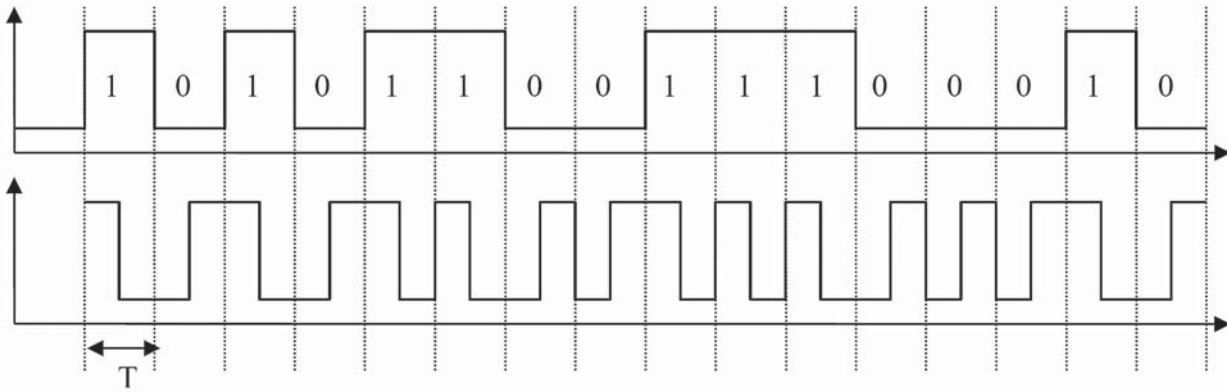


Рис. 6. Принцип кодирования информации кодом Манчестер:  
 T – период импульсов

в этом коде выступает пауза в миллисекундах между двумя импульсами. В отличие от кода Манчестер, где один пульс соответствует одному биту, один интервал несет несколько десятков бит информации. На рис. 7 приведена принципиальная схема кодирования информации методом PPM [17].

Интервал времени между импульсами ИВ = МПВ + ИИ\*СД.

МПВ – это минимальный промежуток времени между двумя импульсами. Если переменная данных равна нулю, то ИВ = МПВ.

ИИ – это часть интервала импульса, содержащая один бит информации. Выражена в миллисекундах, и в физическом смысле это есть ни что иное, как время необходимое на передачу одного бита информации.

СД – слово данных в двоичном коде.

Подбираются эти величины исходя из наличия в конструкции технической системы элементов, генерирующих шум. Увеличение МПВ и ИИ позволяет улучшить качество детекции за счет того, что импульсы становятся более различимыми в общем потоке колебаний. Но при этом снижается частота передачи информации. При применении метода кодирования PPM частота передачи данных и частота

работы пульсатора никогда не совпадают, как это происходит, например, при передаче информации с кодом Манчестер.

Затухание амплитуды сигнала можно оценить по уравнению Лэмба (10) [18]:

$$\frac{p_x}{p_0} = e^{-\frac{x}{L}}, \quad (10)$$

где  $p_x$  – величина амплитуды импульса давления на глубине  $x$ ,  $p_0$  – величина импульса давления у источника. Удаленность источника волн давления от приемника связана через характерную длину  $L$ , учитывающую свойства среды, по которой передается информация, определяется соотношением [18]:

$$L = \frac{D}{2} \cdot c \cdot \sqrt{\frac{1}{\nu \cdot \pi \cdot f}}. \quad (11)$$

В уравнении (11):  $D$  – внутренний диаметр гидролинии, по которой передается информация;  $c$  – скорость распространения волны в среде, заполняющей гидролинию;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости среды;  $f$  – частота сигнала. Так, например, увеличение вязкости среды в два раза может вызвать затухание сигнала у приемника на 25%.

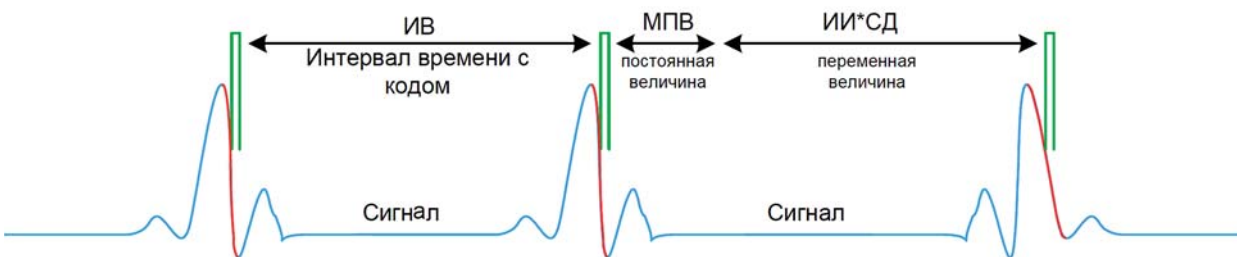


Рис. 7. Принцип кодирования информации кодом PPM

Совместное решение системы уравнений (6), (7), и учитывая граничные условия, описанные соотношениями (3)–(5) и (8), (9), позволяет найти форму импульса давления в длинной гидрелинии. Вид получаемого импульса давления по составленной методике приведен на рис. 8 и 9.

На рис. 8а приведены графики изменения величины амплитуды импульса давления – кривая 2, полученного в результате математического моделирования уравнений вида (6) и (7) с учетом граничных условий, и кривая 1 – закон изменения площади открываемых окон ротора для формирования импульса давления. На рис. 8б представлены эксперимен-

тальные характеристики изменения величины амплитуды импульса давления – кривая 2 и закон изменения площади открываемых окон ротора для формирования импульса давления – кривая 1, аналогично [19].

Из сравнения рис. 8а и рис. 8б видно, что время нарастания амплитуды давления при перекрытии окон ротора генератора импульсов давления при математическом моделировании и реального эксперимента составляет порядка 0,18 с. При этом амплитуда импульса давления достигает примерно 1,5 бар. Исходя из чего, можно заключить, что предложенная математическая модель, включающая систему уравнений (6), (7), (3)–(5), (8), (9) и (10), (11), и ме-

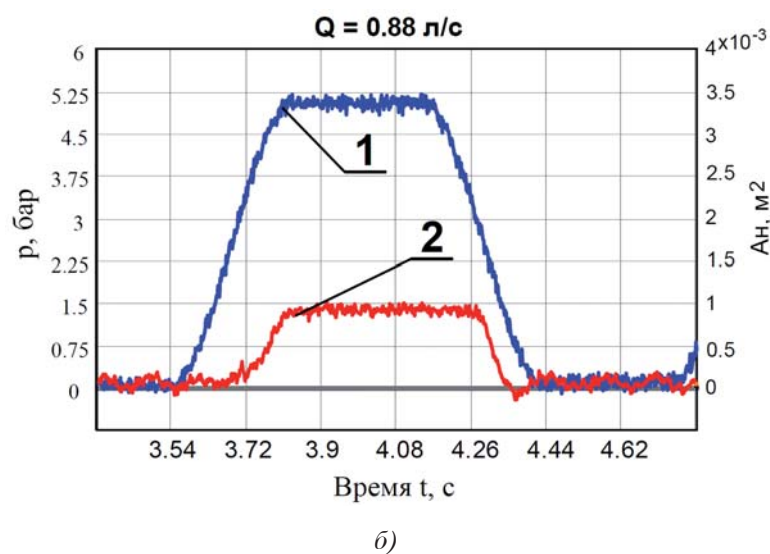
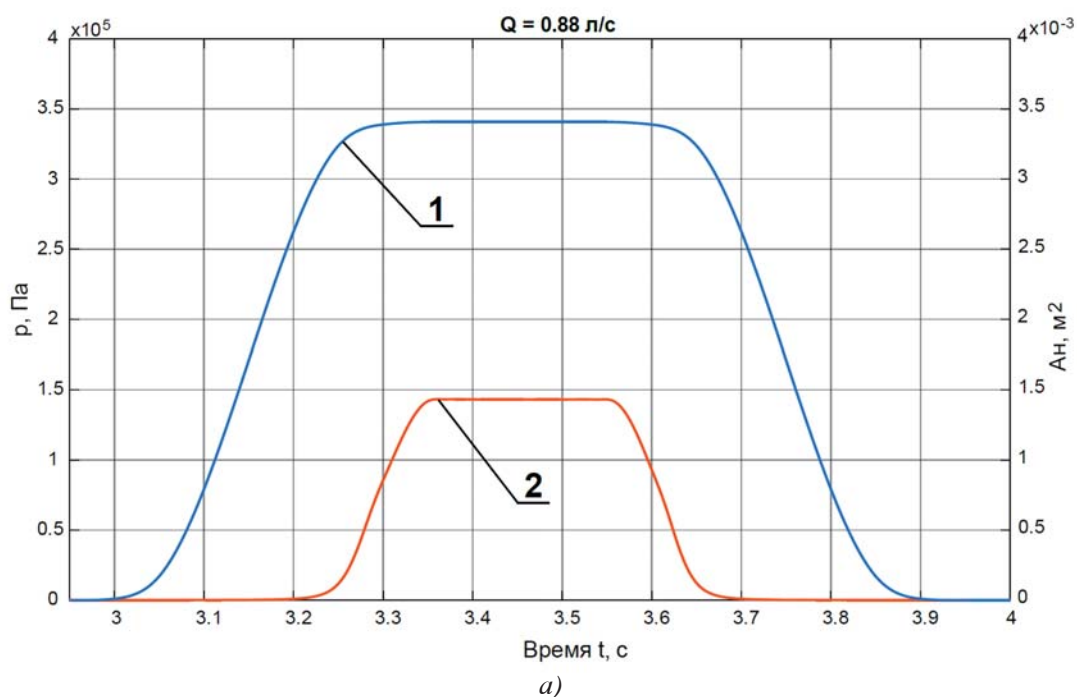


Рис. 8. Вид полученного импульса давления перед генератором импульсов давления

тодику [10] позволяет прогнозировать работу систем управления, кодирования и декодирования информации путем математического моделирования без проведения дорогостоящих предварительных натуральных экспериментальных исследований.

Информацию, собранную датчиками, применяя один из методов кодирования сигнала [7, 15, 19], легко передать оператору технологической системы по ГКС для дальнейшего ее интерпретирования. Тем самым, у оператора появляется возможность следить и управлять технологическим процессом, что наиболее важно и ценно в системах непрерывного контроля и быстрого принятия решений.

### **Заключение**

Результаты работы состоят в следующем.

Получена математическая аналитическая модель, позволяющая моделировать нестационарные процессы в длинной гидролинии с учетом граничных условий для анализа процессов передачи, кодирования и декодирования информации в гидравлическом канале связи (ГКС) технических систем.

Приведены соотношения для граничных условий в нелинейном виде для длинной гидролинии.

Приведены основные методы кодирования информации в ГКС, применяющиеся в настоящее время.

На основании проведенного анализа могут быть сделаны следующие выводы.

Созданная математическая модель позволяет получить импульс или последовательность/комбинацию импульсов давления в длинной гидролинии при нестационарном течении реальной жидкости [10], что позволяет прогнозировать работу систем управления, кодирования и декодирования информации путем математического моделирования без проведения дорогостоящих предварительных натуральных экспериментальных исследований.

Приведенная модель может быть использована в таких областях машиностроения, как например, в авиации, машиностроении или в горном деле при управляемом наклонно/горизонтальном бурении скважин, там, где есть длинные гидролинии и необходимость передавать информацию по ГКС. Также полученная математическая модель необходима для выполнения синтеза [20] и нахождения оптимальных параметров системы генератора импуль-

сов давления [6] при применении методики [10, 20, 21]. В качестве возможного критерия при оптимизации генератора импульсов давления возможно использование критерия для механизмов с вращательным типом движения выходного звена, указанного в работах [21, 22].

### **Литература**

1. Труханов К.А. Разговор сквозь землю // Популярная механика. Журнал о том, как устроен мир. 2015. № 10(156). С. 10.
2. Попов Д.Н., Сосновский Н.Г. Динамические характеристики линий связи с распределенными параметрами для управления гидроприводами с дроссельным регулированием // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 9. С. 32–42. DOI: 10.7463/0915.0810564
3. Шипилевский Г.Б., Строков А.М. Электрогидравлические аппараты для управления фрикционными механизмами трансмиссий // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. № 1(15). Т. 1. С. 248–254.
4. Фомичев В.М. Методы повышения помехоустойчивости электрогидравлических приводов, работающих в тяжелых условиях эксплуатации // Образование через науку: сб. докл. международного симпозиума / Федеральное агентство по образованию РФ, МГТУ им. Н.Э. Баумана. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. С. 326–335.
5. Шорин В.П., Гимадиев А.Г., Быстров Н.Д. Гидравлические и газовые цепи передачи информации. М.: Машиностроение, 2000. 327 с.
6. Michael S. Pogrebinsky, Kirill A. Trukhanov. Rotary Pulsers and associated methods. United States Letters Patent: September 11, 2015. Application Serial № 11/851,222.
7. Кульчицкий В.В., Григашкин Г.А., Ларионов А.С., Щebetов А.В. Геонавигация скважин: учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. 312 с.
8. Андреев М.А. Способ регулирования пневмогидравлической подвески многоосного транспортного средства с изменяемой упругой характеристикой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 18 с.
9. Рязанцев В.И., Альсаламех Бальсам. Стабилизация вертикальной реакции дороги на колесо при движении автомобиля по периодическому профилю // Известия МГТУ «МАМИ». 2016. № 4(30). С. 57–65.
10. Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. Т. IV-20. Гидравлические машины, агрегаты и установки / Ю.С. Васильев, В.А. Умов, Ю.М. Исаев. М.: Машиностроение, 2015. 584 с.



11. Труханов К.А., Попов Д.Н., Адельшин Д.Р. Способ идентификации нагрузки на конце длинной гидролинии насосной установки // Справочник. Инженерный журнал. 2016. № 9. С. 38–48. DOI: 10.14489/hb.2016.09.pp. 038-048
  12. Попов Д.Н., Сосновский Н.Г., Сиухин М.В. Регулирование волновых процессов в гидросистемах // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 10. С. 39–55. DOI: 10.7463/1016.0847697
  13. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы. М.: Машиностроение, 1982. 240 с.
  14. S. Mambretti Water Hammer Simulations. WIT Press, 2014. 186 p.
  15. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 464 с.
  16. Докучаев В.А. Основы сетевых технологий и высокоскоростной передачи данных: учебное пособие. Ч. 1 / В.А. Докучаев, М.Н. Беленькая, Н.В. Яковенко. МТУСИ, 2008. 67 с.
  17. Vikas Goyal, Dhaliwal B.S. Analysis of UWB Multiple Access Modulation Scheme using Pulse Position Modulation // GESJ: Computer Science and Telecommunications. 2015. No. 1(45). P. 77–82.
  18. Tor Helge Naara Tjemsland. Evaluation of Measurement-While-Drilling, telemetry methods and integration of control systems: master's thesis. University of Stavanger, 2012. 77 p.
  19. Wilson C. Chin, Yinao Su, Limin Sheng, Lin Li, Hailong Bian, Rong Shi. Measurement While Drilling (MWD) Signal Analysis, Optimization and Design. M.I.T. Stratamagnetic Soft ware, LLC, Houston, Texas. Scrivener Publishing Wiley, 2014. 384 p.
  20. Труханов К.А. Синтез гидропривода с дискретно управляемым движением выходного звена: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 16 с.
  21. Труханов К.А., Попов Д.Н. Выбор оптимальных параметров гидропривода вентилятора для системы охлаждения двигателя транспортного средства [Электронный ресурс] // Научн. техн. журн. Наука и Образование. 2013. № 7 (июль). Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/590873.html> . (01.07.2013).
  22. Попов Д.Н. Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидроприводов // Вестник машиностроения. 1986. № 9. С. 20–23.
- References**
1. Trukhanov K.A. Talking through the earth. Populyarnaya mekhanika. Zhurnal o tom, kak ustroen mir. 2015. No 10(156), pp. 10 (in Russ.).
  2. Popov D. N., Sosnovskiy N. G. Dynamic characteristics of communication lines with distributed parameters for controlling hydraulic drives with throttle control. Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. zhurn. 2015. No 9, pp. 32–42 (in Russ.). DOI: 10.7463/0915.0810564.
  3. Shipilevskiy G.B., Stokov A.M. Electrohydraulic devices for controlling friction gears of transmissions. Izvestiya MGTU «MAMI». 2013, No 1(15). Vol. 1, pp. 248–254 (in Russ.).
  4. Fomichev V.M. Methods for increasing the noise immunity of electrohydraulic drives operating under severe operating conditions. Obrazovanie cherez nauku: sb. dokl. mezhdunarodnogo simpoziuma. Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu RF, MGTU im. N.E. Baumana [Education through science: collection of reports of international symposium, Federal agency for education of RF]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2006, pp. 326–335 (in Russ.).
  5. Shorin V.P., Gimadiev A.G., Bystrov N.D. Gidravlicheskie i gazovye tsepi peredachi informatsii [Hydraulic and gas transmission chains]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2000. 327 p.
  6. Michael S. Pogrebinsky, Kirill A. Trukhanov. Rotary Pulsers and associated methods. United States Letters Patent: Semtember 11, 2015, Application Serial No 11/851, pp. 222.
  7. Kul'chitskiy V.V., Grigashkin G.A., Larionov A.S., Shchebetov A.V. Geonavigatsiya skvazhin [Geonavigation of wells]. Moscow: MAKS Press Publ., 2008. 312 p.
  8. Andreev M.A. Sposob regulirovaniya pnevmogidravlicheskoj podveski mnogoosnogo transportnogo sredstva s izmenyaemoy uprugoy kharakteristikoy: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [A method of adjusting the air-hydraulic suspension of a multi-axle vehicle with variable elastic characteristic: abstract for dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2014. 18 p.
  9. Ryazantsev V.I., Al'salamekh Bal'sam. Stabilization of the vertical reaction of the road to the wheel when the vehicle moves along a periodic profile. Izvestiya MGTU «MAMI». 2016. No 4(30), pp. 57–65 (in Russ.).
  10. Mashinostroenie. Entsiklopediya [Mechanical engineering. Encyclopedia] / red. sovet: K.V. Frolov (pred.) i dr. Vol. IV-20. Gidravlicheskie mashiny, agregaty i ustanovki. Yu.S. Vasil'ev, V.A. Umov, Yu.M. Isaev i dr.; pod obshch. red. Yu.S. Vasil'eva, G.P. Porshneva. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2015. 584 p.
  11. Trukhanov K.A., Popov D.N., Adel'shin D.R.

- A method for identifying the load at the end of a long hydraulic line of a pumping unit. Handbook. Inzhenernyy zhurnal. 2016. No 9, pp. 38–48. DOI: 10.14489/hb.2016.09. pp. 038-048 (in Russ.).
12. Popov D.N., Sosnovskiy N.G., Siukhin M.V. Regulation of wave processes in hydraulic systems. MGTU im. N.E. Baumana. Elektron. zhurn. 2016. No 10, pp. 39–55 (in Russ.). DOI: 10.7463/1016.0847697.
  13. Popov D.N. Nestatsionarnye gidromekhanicheskie protsessy [Nonstationary hydromechanical processes]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1982. 240 p.
  14. S. Mambretti Water Hammer Simulations. WIT Press Publ., 2014. 186 p.
  15. Popov D.N. Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem: Uchebnik dlya vuzov [Dynamics and regulation of hydro- and pneumatic systems: Textbook for Universities]. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1987. 464 p.
  16. Dokuchaev V.A. Osnovy setevykh tekhnologiy i vysokoskorostnoy peredachi dannykh [Basics of network technologies and high-speed data transmission] [Tekst] : uchebnoe posobie dlya spetsial'nostey 230101, 230105, 210406. Vol. 1. V.A. Dokuchaev, M.N. Belen'kaya, N.V. Yakovenko MTUSI Publ., 2008. 67 p.
  17. Vikas Goyal, Dhaliwal B.S. Analysis of UWB Multiple Access Modulation Scheme using Pulse Position Modulation // GESJ: Computer Science and Telecommunications. 2015. No. 1(45), pp. 77–82.
  18. Tor Helge Haara Tjemsland. Evaluation of Measurement-While-Drilling, telemetry methods and integration of control systems: master's thesis. University of Stavanger, 2012. 77 p.
  19. Wilson C. Chin, Yinao Su, Limin Sheng, Lin Li, Hailong Bian, Rong Shi. Measurement While Drilling (MWD) Signal Analysis, Optimization and Design. M.I.T. Stratamagnetic Soft ware, LLC, Houston, Texas. Scrivener Publishing Wiley, 2014. 384 p.
  20. Trukhanov K.A. Sintez gidroprivoda s diskretno upravlyaemym dvizheniem vykhodnogo zvena: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Synthesis of a hydrodrive with discretely controlled movement of the output link: abstract for dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2013. 16 p.
  21. Trukhanov K.A., Popov D.N. Selection of the optimum parameters of the hydraulic drive of the fan for the engine cooling system of the vehicle [Elektronnyy resurs]. Nauchn. tekhn. zhurn. Nauka i Obrazovanie. 2013. No 7 (iyul'). URL: <http://technomag.edu.ru/doc/590873.html> . (01.07.2013). (0,625/0,5 p.l.) (in Russ.).
  22. Popov D.N. Evaluation of efficiency and optimal design of hydraulic drives. Vestnik mashinostroeniya. 1986. No 9, pp. 20–23 (in Russ.).

## THE USE OF HYDRAULIC COMMUNICATION CHANNEL IN TECHNICAL SYSTEMS

PhD in Engineering **K.A. Trukhanov**

Special design and technology bureau RK, [trukhanov@mail.ru](mailto:trukhanov@mail.ru)

*When developing technological systems, it becomes necessary to transmit information over significant distances without the use of traditional means of communication, because they can not be used, for example, in the field of geonavigation when drilling inclined / horizontal wells. One of the possible channels for transmitting information in this area is the hydraulic communication channel (HCC). Therefore, at present, the task of developing an effective method and approach for transmitting information on the HCC becomes urgent. The purpose of this work was to create a mathematical model of the HCC to provide practical recommendations when used in technology to assess the possibility of transmitting information on it without conducting costly field tests.*

*The article presents a mathematical model of the HCC, which is a long hydroline, taking into account the boundary conditions at its input and output from it. The input boundary condition is represented by a piston pump with a crank-and-rod drive mechanism. The output boundary condition is represented by a throttle - a mechanical device capable of overlapping the pass channel in the hydrolysis line, thereby creating pressure pulses through which useful transmitted information is generated over the HCC. The obtained characteristic for the relative instantaneous feed  $Q$  is shown as a function of the angle  $\varphi$  of rotation of the pump shaft. A relation is given that establishes the relationship between the area of the opened throttle windows and the angle of rotation of its shaft. Two applied methods for encoding information in technological systems for information transmission are considered and a dependence for the attenuation of the signal amplitude during data transmission over the HCC is given.*

*A mathematical simulation of the system with HCC and the described boundary conditions is performed. The form of the pressure pulse is obtained. Based on the results of the work, conclusions were drawn.*

**Keywords:** hydraulic communication channel, mathematical model, long hydroline, pressure pulse generator.