

## ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ КАНАЛА СВЯЗИ КАК ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА ЦИФРОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Е. С. ЛИХОЛЕТОВА, О. С. НУЙЯ, Р. О. ПЕЩЕРОВ, А. В. УШАКОВ

<sup>1</sup> *Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия*  
*E-mail: olga.nuyya@gmail.com*

На примере задачи цифрового дистанционного управления непрерывным техническим объектом показано, что пропускная способность в предоставленной канальной среде может оказаться основным ограничением возможности достижения требуемого качества системы управления. Положения статьи иллюстрируются примером.

**Ключевые слова:** пропускная способность, канал связи, дистанционное управление, непрерывная система, среда, полоса пропускания, передаточная функция, помехозащищенный код.

**Введение. Постановка задачи.** Рассмотрим непрерывную систему типа „одномерный вход—одномерный выход“ (ОВОВ), аналитически сконструированную любым из доступных в настоящее время способов [1], так что она описывается передаточной функцией „вход—выход“, параметризованной характеристической частотой  $\omega_0$ :

$$\Phi(s, \omega_0) = \frac{v_n \omega_0^n}{s^n + \sum_{i=1}^n v_i \omega_0^i s^{(n-i)}}. \quad (1)$$

В передаточной функции (1) коэффициенты  $v_i, i = \overline{1, n}$ , задают [1] характер распределения корней полинома  $D(s, \omega_0) = s^n + \sum_{i=1}^n v_i \omega_0^i s^{(n-i)}$ , а характеристическая частота  $\omega_0$  — размеры области локализации корней на комплексной плоскости. Параметр  $\omega_0$  определяет основные показатели [1] непрерывной системы как в переходном, так и в установившемся режиме: это — длительность переходного процесса, добротность по скорости, полосы пропускания на различных уровнях амплитудных частотных характеристик отношений „вход—выход“ и „вход—ошибка“. Инвариантными к значению параметра  $\omega_0$  являются такие показатели системы, как величина перерегулирования переходной характеристики, число ее колебаний за время переходного процесса и запасы устойчивости.

Ставится задача оценить, как изменятся условия реализуемости требуемого значения характеристической частоты  $\omega_0$  при рассмотрении передаточной функции (1) в задаче организации цифрового дистанционного онлайн управления непрерывным техническим объектом (НТО) в канальной среде, связывающей его с устройством формирования цифрового сигнала управления по прямому и обратному каналам связи (КС).

**Системные факторы канальной среды.** Наличие канальной среды в задаче цифрового дистанционного онлайн управления при использовании протокола PPP (Point-to-Point Protocol) [2] порождает необходимость учитывать следующие системные факторы.

1. Осуществление терминальными аппаратными средствами четырехфазного преобразования „параллельный — последовательный“ при передаче и „последовательный — параллельный“ при приеме в прямом и обратном каналах связи с задержкой, равной длительности преобразуемого кода в каждом из КС.

2. Использование при передаче помехозащищенных кодов, что приводит к увеличению формата передаваемого кода за счет введения в его состав проверочных разрядов.

3. Коррекция обнаруженных искажений передаваемых помехозащищенных кодов с временными затратами, определяемыми способом организации коррекции.

4. Обмен информацией в „дуплексной“ или „полудуплексной“ формах в зависимости от конкретных свойств используемого последовательного интерфейса (телемеханического протокола), сопровождающийся дополнительными временными затратами.

5. Выполнение процедуры скремблирования — дескремблирования передаваемой/принимаемой кодовой комбинации цифрового сигнала управления для обеспечения синхронной работы генераторов передающей и принимающей сторон, что требует дополнительных временных затрат.

6. Использование динамического наблюдающего устройства при формировании сигнала управления даже в случае полной непосредственной измеримости компонентов вектора состояния в силу скалярной природы канальной среды.

Первый системный фактор увеличивает размерность дискретной модели НТО на два, так что при разработке системы цифрового управления приходится иметь дело с агрегированным дискретным объектом размерностью  $n_A = n + 2$ : „задержка на цикл передачи сигнала цифрового управления в прямом КС — дискретная модель НТО порядка  $n$  — задержка на цикл передачи выходного сигнала в обратном КС“. В случае использования аппарата модального управления [3—5] придется выбирать модальную модель также размерностью  $n_A$ .

Системные факторы 2—5 увеличивают в различной мере интервал дискретности  $\Delta t$ , в соответствии с которым осуществляется обмен информацией по прямому и обратному каналам системы, по сравнению с длительностью  $\Delta t_b$  бита используемого телемеханического протокола (ТМП). Учет системных факторов приводит к следующим представлениям агрегированного интервала дискретности  $\Delta t$ :

— в случае „дуплекса“ без скремблирования:

$$\Delta t = \Delta t_b (n_d + m + 1); \quad (2)$$

— в случае „полудуплекса“ без скремблирования:

$$\Delta t = 2\Delta t_b (n_d + m + 1); \quad (3)$$

— в случае „дуплекса“ со скремблированием:

$$\Delta t = \Delta t_b (n_d + m + 3); \quad (4)$$

— в случае „полудуплекса“ со скремблированием:

$$\Delta t = 2\Delta t_b (n_d + m + 3). \quad (5)$$

В выражениях (2)—(5)  $n_d$  — число разрядов аппаратных средств формирования и преобразования цифровых и аналоговых сигналов (обычно из ряда 8, 12, 16, 24, 32);  $m$  — число проверочных разрядов используемого помехозащищенного кода (ПЗК), который в задаче дистанционного онлайн управления с использованием РРР должен обеспечивать режим исправления, а не обнаружения ошибок при передаче ПЗК-сигналов в прямом и обратных каналах, при этом число  $m$  должно удовлетворять условию

$$m = \arg \left\{ N_{ns} = 2^m - 1 \geq N_f = \sum_{i=1}^s C_{n_d+m}^i \ \& \ P_{\text{ош}} = \sum_{i=s+1}^{n_d+m} \left( C_{n_d+m}^i \right) p^i (1-p)^{n_d+m-i} \leq P_{\text{доп}} \right\}, \quad (6)$$

где  $N_{ns}$  — число ненулевых синдромов;  $N_f$  — число вариантов искажений ПЗК кратностью до  $s$ ;  $C_{n_d+m}^i$  — число сочетаний из  $(n_d + m)$  по  $i$ ;  $P_{\text{ош}}$  — вероятность прохождения искаженного ПЗК через среду помехозащиты;  $p$  — вероятность искажения бита ПЗК в канале связи;  $P_{\text{доп}}$  — допустимая вероятность приема ложной команды ( в зависимости от категории системы дистанционного управления из ряда  $10^{-7}, 10^{-10}, 10^{-14}$  ).

При интервале дискретности  $\Delta t$ , определяемом по формулам (2) и (3), „1“ в скобках соответствует временным затратам длительностью в 1 бит на коррекцию искажений ПЗК. При интервале дискретности  $\Delta t$ , определяемом по формулам (4) и (5), затратам длительностью в 1 бит на коррекцию искажений ПЗК соответствует число „3“ (в скобках).

Возможен вариант формирования интервала дискретности в случае использования коррекции ПЗК с помощью квазисиндромов [6—8], требующей для своей реализации дополнительного цикла деления принятого искаженного ПЗК. Деление осуществляется в темпе „канального времени“, что приведет к замене чисел „1“ и „3“ в формулах (2)—(5) на „ $n_d + m$ “, увеличивая тем самым  $\Delta t$  практически в два раза.

Итак, независимо от скорости (пропускной способности) предоставленного ТМП при дистанционном управлении непрерывным техническим объектом размерность его дискретной модели увеличивается на два:  $n_A = n + 2$ . Если рассматривается объект типа „многомерный вход—многомерный выход“ (МВМВ) с  $r$  входами и  $r$  выходами, то общая размерность дискретной модели такого объекта увеличивается на  $2r$ , при этом в  $r$  раз по сравнению с формулами (2)—(5) увеличивается длительность интервала  $\Delta t$  при обслуживании последовательным ТМП  $r$  сепаратных каналов НТО типа МВМВ.

**Основной результат.** Для демонстрации основных результатов рассмотрим непрерывную систему типа ОВОВ с передаточной функцией вида (1), с индексом „ $A$ “, в которой порядок  $n$  заменим на  $n_A$ :

$$\Phi_A(s, \omega_0) = \frac{v_{n_A} \omega_0^{n_A}}{s^{n_A} + \sum_{i=1}^{n_A} v_i \omega_0^i s^{(n_A-i)}} = \frac{v_{n_A} \omega_0^{n_A}}{D(s, n_A, \omega_0)}. \quad (7)$$

Передаточная функция (7) представляет собой желаемый непрерывный аналог системы цифрового дистанционного управления непрерывным техническим объектом, дискретное модельное представление которого модифицировано с учетом факторов канальной среды. Далее предстоит решить ключевую задачу реализации передаточной функции (7), которая состоит в оценке максимального значения характеристической частоты  $\omega_0$ , достижимого при интервале дискретности  $\Delta t$  информационного обмена в ходе цифрового дистанционного управления, реализуемого в одной из форм (2)—(5).

Для решения этой задачи обратимся к таблицам динамических показателей непрерывных систем типа ОВОВ с передаточными функциями вида (7), ограничившись случаями расщеплений Баттерворта и Ньютона корней полиномов  $D(s, n_A, \omega_0)$  и значениями агрегированной размерности  $n_A = 4, n_A = 5$ , полагая тем самым, что исходный НТО имеет размерность из ряда  $n = 2, n = 3$ : см. табл. 1, 2, где приняты следующие обозначения:  $\sigma$  — перерегулирование,  $t_\sigma$  — время перерегулирования,  $t_{п.п}$  — длительность переходного процесса,  $D$  — добротность.

Таблица 1

Порядок $n$	$D(s, \omega_0)$ с распределением Баттерворта	$\sigma, \%$	$t_\sigma \omega_0$	$t_{п.п} \omega_0$	$\frac{D}{\omega_0}$	Полоса пропускания $\Delta\omega/\omega_0$			
						$ 1-M  \leq 0,05$	$M \geq 0,707$	$M \geq 0,05$	$\delta \leq 0,05$
4	$s^4 + 2,6\omega_0 s^3 + 3,4\omega_0^2 s^2 +$ $+2,6\omega_0^3 s + \omega_0^4$	11	5,55	7	0,385	0,701	1	2,11	0,02
5	$s^5 + 3,24\omega_0 s^4 + 5,24\omega_0^2 s^3 +$ $+5,24\omega_0^3 s^2 + 3,24\omega_0^4 s + \omega_0^5$	13	6,3	8	0,31	0,774	1	1,782	0,017

Таблица 2

Порядок $n$	$D(s, \omega_0)$ с биномиальным распределением Ньютона	$\sigma, \%$	$t_\sigma \omega_0$	$t_{п.п} \omega_0$	$\frac{D}{\omega_0}$	Полоса пропускания $\Delta\omega/\omega_0$			
						$ 1-M  \leq 0,05$	$M \geq 0,707$	$M \geq 0,05$	$\delta \leq 0,05$
4	$s^4 + 4\omega_0 s^3 + 6\omega_0^2 s^2 +$ $+4\omega_0^3 s + \omega_0^4$	0	—	7,8	0,25	68,6	0,248	0,144	0,44
5	$s^5 + 5\omega_0 s^4 + 10\omega_0^2 s^3 +$ $+10\omega_0^3 s^2 + 5\omega_0^4 s + \omega_0^5$	0	—	9	0,2	66,9	0,2	0,128	0,4

Для установления связи частоты  $\omega_0$  с интервалом  $\Delta t$  необходимо воспользоваться двумя системными положениями. Первое положение связано с аналитической зависимостью полосы пропускания  $(\Delta\omega)_s$  системы с передаточной функцией (7) на уровне 5 %-ного значения ее амплитудной частотной характеристики отношения „вход—выход“ от частоты  $\omega_0$ :

$$(\Delta\omega(\omega_0))_s = \omega = \max_{\omega} \arg \left\{ |\Phi_A(j\omega, \omega_0)| = M(\omega, \omega_0) \geq 0,05 \right\} = \gamma_{(*)n} \omega_0. \quad (8)$$

Здесь  $\gamma_{(*)n}$  — коэффициент пропорциональности, элемент  $(*)$  двойного индекса которого может принимать значения  $(*) = B$  и  $(*) = N$ : это указывает, что полином  $D(s, n_A, \omega_0)$  обладает свойствами, аналогичными свойствам полинома  $D(s, \omega_0)$ . Элемент „ $n$ “ двойного индекса принимает значения  $n = 4$  и  $n = 5$  размерности модели (7). Таким образом, согласно табл. 1 и 2 для коэффициентов пропорциональности можно записать:  $\gamma_{B4} = 2,11$ ,  $\gamma_{B5} = 1,782$ ,  $\gamma_{N4} = 2,0$ ,  $\gamma_{N5} = 1,54$ .

Второе системное положение, опирающееся на теорему Шеннона — Котельникова [3—5, 9], аналитически связывает полосу пропускания  $(\Delta\omega)_c$  канальной среды с интервалом дискретности  $\Delta t$  соотношением

$$(\Delta\omega)_c = \pi/\Delta t. \quad (9)$$

Очевидно, динамические показатели системы (7) будут реализованы при цифровом дистанционном управлении непрерывным техническим объектом, если будет выполняться соотношение

$$(\Delta\omega)_c = \pi/\Delta t \geq (\Delta\omega(\omega_0))_s = \gamma_{(*)n} \omega_0. \quad (10)$$

Если соотношение (10) разрешить относительно характеристической частоты  $\omega_0$ , то получим

$$\omega_0 \leq \pi / (\Delta t \gamma_{(*)n}), \tag{11}$$

при этом максимальное значение  $\omega_0$  определяется выражением

$$\omega_{\max} = \pi / (\Delta t \gamma_{(*)n}). \tag{12}$$

Подставив соотношение (12) в динамические показатели, приведенные в табл. 1 и 2, в форме функций характеристической частоты  $\omega_0$ , получим динамические показатели непрерывной системы типа ОВОВ с передаточной функцией вида (7) с распределением Баттерворта и биномиальным распределением Ньютона корней полинома  $D(s, n_A, \omega_0 = \pi / (\gamma_{Bn} \Delta t))$  (табл. 3 и 4 соответственно).

Таблица 3

Порядок $n$	$D(s, \omega_0)$ с распределением Баттерворта	$\sigma, \%$	$\frac{t_\sigma}{\Delta t}$	$\frac{t_{п.п}}{\Delta t}$	$D\Delta t$	Полоса пропускания $\Delta\omega \cdot \Delta t$			
						$ 1-M  \leq 0,05$	$M \geq 0,707$	$M \geq 0,05$	$\delta \leq 0,05$
4	$s^4 + 2,6\omega_0 s^3 + 3,4\omega_0^2 s^2 +$ $+2,6\omega_0^3 s + \omega_0^4,$ $\omega_0 = 1,4889(\Delta t)^{-1}$	11	3,73	4,7	0,573	1,044	1,49	3,142	0,03
5	$s^5 + 3,24\omega_0 s^4 + 5,24\omega_0^2 s^3 +$ $+5,24\omega_0^3 s^2 + 3,24\omega_0^4 s + \omega_0^5,$ $\omega_0 = 1,763(\Delta t)^{-1}$	13	3,57	4,54	0,547	1,365	1,763	3,142	0,03

Таблица 4

Порядок $n$	$D(s, \omega_0)$ с биномиальным распределением Ньютона	$\sigma, \%$	$\frac{t_\sigma}{\Delta t}$	$\frac{t_{п.п}}{\Delta t}$	$D\Delta t$	Полоса пропускания $\Delta\omega \cdot \Delta t$			
						$ 1-M  \leq 0,05$	$M \geq 0,707$	$M \geq 0,05$	$\delta \leq 0,05$
4	$s^4 + 4\omega_0 s^3 + 6\omega_0^2 s^2 +$ $+4\omega_0^3 s + \omega_0^4,$ $\omega_0 = 1,5708(\Delta t)^{-1}$	0	—	4,97	0,393	0,226	0,691	3,142	0,021
5	$s^5 + 5\omega_0 s^4 + 10\omega_0^2 s^3 +$ $+10\omega_0^3 s^2 + 5\omega_0^4 s + \omega_0^5,$ $\omega_0 = 2,04(\Delta t)^{-1}$	0	—	4,42	0,408	0,261	0,816	3,142	0,022

**Пример 1.** Оценим достижимые динамические показатели системы цифрового дистанционного управления непрерывным техническим объектом типа ОВОВ при следующих условиях.

1. Выбирается НТО типа ОВОВ размерностью  $n = 2$ .
2. Осуществляется терминальными аппаратными средствами многофазное преобразование „параллельный — последовательный“ при передаче и „последовательный — параллельный“ при приеме в прямом и обратном каналах связи, порождающее агрегированную дискретную модель НТО размерностью  $n_A = n + 2 = 4$ .
3. Выбирается аппаратная среда терминальных узлов системы представления, формирования и преобразования сигнала управления с числом разрядов  $n_d = 8$ .

4. Предоставленный телемеханический протокол [10] обладает скоростью передачи (пропускной способностью)  $c = 1200$  бит/с и характеризуется длительностью бита  $\Delta t_b = 8,333 \cdot 10^{-4}$  с.

5. В соответствии с  $P_{\text{доп}} = 10^{-7}$ , согласно выражению (6), выбирается ПЗК (15,8) с числом проверочных разрядов  $m = 7$ .

6. Коррекция искажений ПЗК осуществляется за один бит.

7. ТМП позволяет организовать „дуплексный“ обмен информацией в процессе цифрового дистанционного управления НТО.

8. ТМП не использует процедуры „скремблирования—дескремблирования“ передаваемых/принимаемых кодовых комбинаций сигналов обмена.

9. Система цифрового дистанционного управления наделяется биномиальным распределением Ньютона корней характеристического полинома с перерегулированием  $\sigma=0$ .

*Решение примера 1.* Вычисленное с помощью соотношения (2) значение агрегированного интервала дискретности  $\Delta t$  составляет

$$\Delta t = \Delta t_b (n_d + m + 1) = 8333 \cdot 10^{-4} \cdot (8 + 7 + 1) = 0,01333 \text{ с}.$$

На основе табл. 4 при  $n=4$  получены следующие оценки предельно достижимых значений:  $\sigma = 0$ ;  $t_{\text{п.п}} \geq 4,97\Delta t = 0,0663$  с;  $D \leq 0,393/(\Delta t) = 29,48 \text{ с}^{-1}$ ;  $\omega_0 \leq 1,5708(\Delta t)^{-1} = 117,84 \text{ с}^{-1}$ .

**Пример 2.** Оценим достижимые динамические показатели системы цифрового дистанционного управления непрерывным техническим объектом типа ОВОВ при следующих условиях.

1, 2 — аналогичны условиям 1, 2 примера 1.

3. Выбирается аппаратная среда терминальных узлов системы представления, формирования и преобразования сигнала управления с числом разрядов  $n_d = 12$ .

4. Выбирается ТМП с  $c = 600$  бит/с и  $\Delta t_b = 16,666 \cdot 10^{-4}$  с.

5. В соответствии с  $P_{\text{доп}} = 10^{-7}$  в силу (6) выбирается ПЗК (23,12) с числом  $m = 11$ .

6. Условие аналогично п. 6 примера 1.

7. ТМП позволяет организовать „полудуплексный“ обмен информацией в процессе цифрового дистанционного управления НТО.

8. ТМП использует процедуры „скремблирования—дескремблирования“ передаваемых/принимаемых кодовых комбинаций сигналов обмена.

9. Условие аналогично п. 9 примера 1.

*Решение примера 2.* Вычисленное с помощью соотношения (5) значение агрегированного интервала дискретности  $\Delta t$  составляет

$$\Delta t = 2\Delta t_b (n_d + m + 3) = 16,666 \cdot 10^{-4} \cdot (12 + 11 + 3) = 0,0433 \text{ с}.$$

На основе табл. 4 при  $n=4$  получены следующие оценки предельно достижимых значений:  $\sigma = 0$ ;  $t_{\text{п.п}} \geq 4,97\Delta t = 0,2154$  с;  $D \leq 0,393/(\Delta t) = 9,0762 \text{ с}^{-1}$ ;  $\omega_0 \leq 1,5708(\Delta t)^{-1} = 36,2771 \text{ с}^{-1}$ .

**Заключение.** Показано, что пропускная способность предоставленных телемеханических протоколов, являющихся в настоящее время достаточно распространенной формой реализации интерфейсных функций канальной среды в задаче цифрового дистанционного управления непрерывным техническим объектом типа ОВОВ при больших расстояниях, может оказаться серьезным ограничением возможности достижения требуемых показателей системы управления. Эта ситуация может многократно усугубиться при построении системы цифрового дистанционного управления техническими объектами типа МВМВ.

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при поддержке Правительства Российской Федерации (грант 074-U01) и Министерства образования и науки РФ (проект 14. Z50.31.0031).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kwakernaak, H., Sivan, R. Linear Optimal Control Systems. New York — London — Sydney — Toronto: Wiley-Interscience, a Division of John Wiley & Sons, Inc. 1972. 650 p.
2. Ушаков А. В., Быстров П. С., Нуйя О. С. Сетевые технологии в процессах управления: Учеб. пособие / Под ред. А. В. Ушакова. СПб: НИУ ИТМО, 2012. 350 с.
3. Tou J. T. Modern Control Theory. N. Y.: McGraw-Hill, 1971. 472 p.
4. Изерман Р. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984. 542 с.
5. Григорьев В. В., Дроздов В. Н., Лаврентьев В. В., Ушаков А. В. Синтез дискретных регуляторов при помощи ЭВМ. Л.: Машиностроение, 1983. 245 с.
6. Codes, Systems and Graphical Models. The IMA Volumes in Mathematics and its Applications / Ed.: J. Rosenthal, B. Marcus N. Y.: Springer-Verlag, 2001. Vol.123.
7. Blahut R. E. Theory and Practice of Error Control Codes. Reading, MA: Addison-Wesley, 1983. 500 p.
8. Liholetova E. S., Nuyya O. S., Peshcherov R. O., Ushakov A. V. Factors of the channel medium, problem of digital remote control of continuous technological resources // Proc. of the 3rd Intern. Conf. on Circuits, Systems, Communications, Computers and Applications, Florence, Italy, 22—24 Nov., 2014. P. 68—72.
9. Shannon C. E. A mathematical theory of communication // Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379—423, 623—656.
10. <http://ctsspb.ru> "Communication systems and robot". St. Petersburg.

**Сведения об авторах**

- Елена Сергеевна Лихолетова** — канд. техн. наук; Университет ИТМО, кафедра систем управления и информатики; E-mail: [yaitskayaes@mail.ru](mailto:yaitskayaes@mail.ru)
- Ольга Святославовна Нуйя** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра систем управления и информатики; E-mail: [olga.nuyya@gmail.com](mailto:olga.nuyya@gmail.com)
- Руслан Олегович Пещеров** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра систем управления и информатики; E-mail: [rpeshcherov@mail.ru](mailto:rpeshcherov@mail.ru)
- Анатолий Владимирович Ушаков** — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра систем управления и информатики; E-mail: [ushakov-avg@yandex.ru](mailto:ushakov-avg@yandex.ru)

Рекомендована кафедрой  
систем управления и информатики

Поступила в редакцию  
22.04.15 г.

**Ссылка для цитирования:** Лихолетова Е. С., Нуйя О. С., Пещеров Р. О., Ушаков А. В. Пропускная способность канала связи как гарантия качества цифрового дистанционного управления непрерывным техническим объектом // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 9. С. 751—758.

**CAPACITY OF COMMUNICATION CHANNEL AS A GUARANTEE OF QUALITY  
OF DIGITAL REMOTE CONTROL OVER CONTINUOUS TECHNICAL PLANT**

**E. S. Liholetova, O. S. Nuyya, R. O. Peshcherov, A. V. Ushakov**

*ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: [olga.nuyya@gmail.com](mailto:olga.nuyya@gmail.com)*

Using the problem of digital remote control over a continuous technical plant as an example, it is shown that restriction on the communication channel capacity provided by the channel environment may be a major limitation on the control quality. Illustrations are provided.

**Keywords:** transmission capacity, communication channel, remote control, continuous system, environment, bandwidth, transfer function, barred code.

**Data on authors**

- Elena S. Liholetova** — PhD; ITMO University; Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: yaitskayaes@mail.ru
- Olga S. Nuyya** — PhD, Associate Professor; ITMO University; Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: olga.nuyya@gmail.com
- Ruslan O. Peshcherov** — Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: rpeshcherov@mail.ru
- Anatoly V. Ushakov** — Dr. Sci., Professor; ITMO University; Department of Computer Science and Control Systems; E-mail: ushakov-AVG@yandex.ru

**For citation:** *Liholetova E. S., Nuyya O. S., Peshcherov R. O., Ushakov A. V.* Capacity of communication channel as a guarantee of quality of digital remote control over continuous technical plant // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie*. 2015. Vol. 58, N 9. P. 751—758 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-9-751-758