

УДК 517.9 + 62-503.55

## Обеспечение информативности бурового работа при адаптивном управлении технологическими процессами космических экспериментов

А. А. Цокуренко

*Надійшла до редакції 01.10.98*

---

Робота містить постановку задачі динаміки трансмісії бурового работа в екстремальних умовах космосу (як другу задачу при умовах невизначеності навантажень на робочому органі) та її розв'язання, яке забезпечує виділення перехідних процесів. Виділена інформація забезпечує як здобуття даних про об'єкт дослідження, так і адаптивне керування енергопостачанням работа. Отримано принципово нові результати і залежності, які пройшли успішну апробацію в космічних експериментах.

---

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно [2], наиболее перспективными методами исследования космических объектов на сегодняшний день являются контактные методы, обеспечивающие детальное исследование объекта, но они являются и наиболее дорогостоящими и наукоемкими [7].

В силу сказанного реализация конкретного научного космического эксперимента (НКЭ) требует не только технической подготовки (достаточно вспомнить неудачи НКЭ «Венера-11» и «Венера-12», посадку первого модуля на Венеру в рамках МНКЭ ВЕГА), но и получения в результате его проведения максимально возможного количества научной информации. Как правило, режим работы посадочного модуля на поверхности космического объекта, включая и процессы получения информации и принятия решений в рамках программы согласно заданным целевым функциям (ЦФ), возможен только в автономном режиме. При этом сбор и обработка косвенных экспериментальных данных требует решения задач интерпретации [5] и идентификации [9] последних в реальном масштабе времени, основанных на видоизмененной второй

задаче динамики при неизвестных входных данных (нагрузке на рабочем органе, РО), характеризующихся неуправляемой погрешностью. Перечисленный комплекс задач, который можно определить как обратную задачу, является основой информативного обеспечения бурового работа-информатора (БРИ) по косвенным данным физико-механических свойств исследуемого геологического объекта.

Решение задачи восстановления геологического образа объекта исследования ищется методами решения некорректных задач [6] в соответствии с алгоритмом типа энергоемких инструментальных задач [10], согласно которому выполняется редукция экспериментальных данных контактного взаимодействия между объектом и РО [4], а с помощью методов возмущений [3] обеспечивается восстановление полезных сигналов, искажаемых переходными процессами силовых трансмиссий БРИ. Решение этих задач, в конечном итоге, позволяет:

— выделять структурные особенности строения подповерхностного слоя космического объекта, характеризующиеся различными физико-механическими свойствами, мощности слоев;

— определять значения параметров прочности для каждого из них в реальном масштабе времени.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ БРИ

Конструкция БРИ ВБ-02 для Венеры характеризуется количеством степеней свободы, реализуемых на РО, равным  $N = 2$ , и включает как инерционные, так и упругие элементы энергоемких трансмиссий и узлов, функционирование которых сопровождается значительными диссипативными потерями. Полная система уравнений включает описание динамики усилия подачи  $F$ , развиваемого на РО, и момента вращения  $M$  как независимых в первом приближении [2]. Однако, как известно [4], показатель прочности на срез  $\tau_{ср}$  на порядок меньше величины предельного сжатия  $\sigma_{сж}$  буримых пород. Последнее приводит к тому, что энергопотребление поступательного движения РО намного больше вращательного. Но по этой же причине именно дифференциальная зависимость поступательного движения является и наиболее информативной, т. е. более точно позволяет выделить переходные процессы, обусловленные изменением прочностных параметров обрабатываемой среды. Поэтому в работе рассматривается только уравнение поступательного движения РО.

Информативными параметрами технологических процессов, реализуемых БРИ, являются согласно комплексному проекту [2, 6] данные по энергопотреблению приводных двигателей. Согласно оценкам переходных процессов электрической части [6], суммарные переходные процессы в БРИ определяются прежде всего инерционным  $m$  и упругими элементами  $C_{pl}$ ,  $C_e$  конструкции БРИ [8]:

$$mZ = C_{pl}(Z_0 - Z) - \frac{\beta f}{\omega} \dot{Z} - C_e Z - \beta_0 f - F_0 \quad (1)$$

вместе с зависимостями, описывающими режимы работы:

квазистационарный	динамический
$Z_0(t) = h_0 \int \omega(t) dt,$	$Z(t) = \int h(t) \omega(t) dt,$
$\dot{Z}_0(t) = V_{pl}(t) = h_0 \omega(t),$	$\dot{Z}(t) = V(t) = h(t) \omega(t),$
$\ddot{Z}(t) = \dot{V}_{pl}(t) = h_0 \dot{\omega}(t),$	

(2)

Здесь  $F_0 = \text{const}$  — усилие поджатия опорной пружины,  $Z$ ,  $Z_0$  — глубина бурения в динамическом режиме работы и в стационарном,  $h$ ,  $h_0$  — удельная подача РО в динамическом и стационарном режимах,  $\omega$  — угловая скорость вращения, развиваемая на РО. Точки обозначают дифференцирование по времени. Коэффициенты  $\beta_0$ ,  $\beta$  являются постоянными, определяющими нелинейную зависи-

мость забойной характеристики РО по усилию подачи, имеющую вид [5, 7]

$$F = (\beta_0 + \beta h) f. \quad (3)$$

Они находятся (согласно рекомендациям ГЕОХИ им. В. И. Вернадского) экспериментально и зависят как от геометрии инструмента, так и от потерь в силовой трансмиссии [1, 8]. Кроме того, учет диссипативных потерь производится также на основании учета механизма очистки скважины [6, 7]. Значения  $\omega(t)$  и  $\dot{\omega}(t)$  определяются из зависимости

$$\omega(t) = \omega_0 - \frac{r}{c} \frac{I(t)}{i_1},$$

где параметры привода:  $\omega_0$  — частота «холодного хода»,  $i_1$  — передаточное число трансмиссии,  $r$ ,  $c$  — электромеханические постоянные приводного двигателя,  $I(t)$  — потребляемый ток двигателя.

Переходными процессами электродвигателей можно пренебречь ввиду того, что их период затухания на два порядка меньше по сравнению с механическими. Именно величина переходных процессов электродвигателей послужила обоснованием для выбора временного интервала опроса датчиков,  $\tau_\infty = 0.41$  с, в то время как время механических переходных процессов около 100 с [1, 11].

Уравнение (1) уже в своей постановке включает члены с прочностной характеристикой среды  $f$ , содержащие разрывы первого рода, и поэтому не является классическим. Приведем его к уравнению, которое можно было бы решить известными методами. Величина удельной подачи РО  $h(t)$  является кинематической постоянной стационарного режима работы БРИ и равна  $h_0$ , что позволяет величиной  $\Delta h(t) = h(t) - h_0$  характеризовать работу БРИ в динамическом режиме (1)–(3). В результате замены  $Y(t) = \Delta h(t)$  с предварительным дифференцированием по времени (1) преобразуется к виду [9]

$$m\ddot{Y} + A(t)\dot{Y} + B(t)Y = C(t) \quad (4)$$

с начальными условиями

$$Y(t_1) = 0, \quad \dot{Y}(t_1) = 0. \quad (5)$$

Здесь

$$A(t) = \frac{\beta f}{\omega(t)} \theta(t_1) + 2m \frac{\dot{\omega}(t)}{\omega(t)} \approx \frac{\beta f}{\omega(t)} \theta(t_1), \quad (6)$$

$$B(t) = C_{pl} + C_e + \frac{\beta \dot{f}}{\omega(t)} + m \frac{\ddot{\omega}(t)}{\omega(t)}, \quad (7)$$

$$C(t) = - \frac{(\beta_0 + \beta h_0) \dot{f}(t)}{\omega(t)}, \quad (8)$$

$f$  — характеристика прочностных свойств среды (крепость породы по шкале М. М. Протодьяконова [4], предел на сжатие [6] и др.);  $\theta(t_1)$  — ступенча-

тая функция Хевисайда;  $t_i$  — начальный момент  $i$ -го переходного процесса.

Предполагается [5], что структура исследуемого геологического объекта имеет слоистое ортотропное строение. Тогда на границе раздела двух сред с различными физико-механическими свойствами решение уравнения (4) состоит из двух частей:  $g_0(t)$  и  $g_1(t)$ , первая из которых (сингулярная) является решением при значениях  $dg_0/dt \neq 0$ , а вторая (регулярная) — при условии  $dg_1/dt = 0$ . Сингулярными членами в (4) являются упругий (7) и свободный (8) члены, так как изменение механических свойств среды в момент  $t_i$  (который можно, не теряя общности, положить равным нулю) имеет вид  $f_i(t_i) - f_{i-1}(t_i) = \Delta f \theta(t_i)$ , где  $\theta(t_i)$  — функция Хевисайда. В результате дифференцирования по времени последнее обстоятельство приводит к сингулярностям в виде дельта-функции  $\delta(t)$ :

$$m\ddot{Y} + A(t)\dot{Y} + B(t)Y = C\delta(t) \quad (9)$$

при значениях коэффициентов

$$B(t) = C_{pl} + C_e + \frac{\beta \Delta f}{\omega(t)} \delta(t) + m \frac{\ddot{\omega}(t)}{\omega(t)},$$

$$C(t) = -\frac{\beta \Delta f}{\omega(t)} \delta(t) \quad (10)$$

и при тех же начальных условиях (5). С физической точки зрения уравнение (9) при  $t > 0$  имеет правую часть, равную нулю. Его начальные условия (5) при обычном асимптотическом продолжении правой части в точке  $t = t_i$  должны быть изменены в пределе таким образом, чтобы удовлетворялось уравнение (9) с нулевой правой частью. При этом начальное значение функции, очевидно, остается неизменным, а начальное значение ее производной можно получить, отбросив при переходе к пределу  $t \rightarrow +0$  члены более низкого порядка. Таким образом, уравнение (9) имеет две особенности: а) является обобщенным дифференциальным уравнением; б) имеет при старшей производной малый параметр  $m$ :  $m \ll A$ ,  $m \ll B$ ,  $m \ll C$ .

#### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ:

##### ВЫДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Решение сингулярного уравнения (9) может быть получено методом сращивания асимптотических разложений (САР) [3]. На основании последних строятся предельные решения  $g_0(t)$  и  $g_1(t)$ , разложения которых в виде бесконечных рядов продолжают на некоторую промежуточную общую область

определения, после чего на ней выполняется их сращивание:  $g_{cp}(t) = \{g_0(t) \cup g_1(t)\}$ . Таким образом, основной задачей метода является отыскание предельных решений, справедливых в предельных областях, на которых ищется решение. Для (9) таковыми являются внутренняя область определения в окрестности точки  $t = +0$  и внешняя область при  $t \rightarrow +\infty$ .

Как показывает рис. 1, общее решение (кривые 3) имеет характер пограничного слоя [12] и приближенно может быть описано двумя асимптотическими решениями для предельных случаев, одно из которых (решение 1), при  $t = +0$ , описывает инерционное, а другое (кривая 2), при  $t \rightarrow +\infty$ , — упругое поведение системы. Первое из них называется внутренним, а второе — внешним решением задачи (9)—(10).

Для этого продолжим их от предельных точек:  $t_0 = +0$  и  $t_1 = +\infty$  до общего для обоих решений временного интервала, где они перекрываются:  $0 < t^* \leq t \leq +\infty$ , после чего выполним их «сращивание». При этом формальная процедура разложения по малому параметру применяется к искомой функции в безразмерных системах координат. Согласно (9) для внешнего решения

$$A(t)\dot{Y} + B(t)Y = 0, \quad t > 0 \quad (11)$$

такowymi являются:

$$\bar{y} = \frac{A}{C} y, \quad \bar{t} = \frac{B}{A} t, \quad (12)$$

а для внутреннего (пограничного) решения:

$$m\ddot{Y} + A(t)\dot{Y} = 0, \quad (13)$$

— условия

$$\tilde{y} = \bar{y} = \frac{A}{C} y, \quad \tilde{t} = \frac{A}{m} t = \frac{t}{\varepsilon}, \quad (14)$$

где  $\varepsilon = mB/A^2$  — малый параметр при старшей производной.

Преобразованное с помощью (14) уравнение динамики (13) принимает вид

$$\varepsilon \frac{d^2 \bar{y}}{dt^2} + \frac{d\bar{y}}{dt} + \bar{y} = 0, \quad (15)$$

с начальными условиями

$$\bar{y}(0) = 0, \quad \frac{d\bar{y}(0)}{dt} = 0. \quad (16)$$

Для получения разложения внутреннего решения (15) необходимо перейти к новой (безразмерной) переменной времени, определяющей с какой скоростью характерное время внутреннего процесса ( $t_i =$

$= \bar{t}/f(\varepsilon)$ ,  $f(\varepsilon) \rightarrow 0$ ) достигает начала координат в масштабе времени  $\bar{t}$ . Тогда переход к новой переменной в (15) при условии, что члены высших порядков остаются главными и имеют один и тот же порядок, дает

$$\frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{d^2 \bar{y}}{dt_i^2} + \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{d\bar{y}}{dt_i} + \bar{y} = 0, \quad f(\varepsilon) = \varepsilon, \quad (17)$$

что и определяет характерный предел на основании решения уравнения типа пограничного слоя

$$\frac{d^2 \bar{y}}{dt_i^2} + \frac{d\bar{y}}{dt_i} = 0$$

Предельная внутренняя задача при замене (16) запишется в виде

$$\frac{d^2 \tilde{y}}{dt^2} + \frac{d\tilde{y}}{dt} = 0 \quad (18)$$

с преобразованными начальными условиями (18)

$$\tilde{y}(0) = 0, \quad \frac{d\tilde{y}(0)}{dt} = 1. \quad (19)$$

Разложение, пригодное вдали от границы, может быть получено из (15) на основании предельного перехода по параметру  $\varepsilon \rightarrow +\infty$  при фиксированном  $\bar{t}$ . Внутреннее разложение выбирается с таким внутренним масштабом шкалы (16), который позволяет избавиться от малого параметра при старшей производной. В результате асимптотическое разложение, соответствующее пределу пограничного слоя, имеет вид

$$\bar{y}(\bar{t}, \varepsilon) \approx \mu_0(\varepsilon)g_0(\bar{t}) + \mu_1(\varepsilon)g_1(\bar{t}) + \dots, \quad (20)$$

$$\frac{\mu_{n+1}}{\mu_n} \rightarrow 0, \quad \varepsilon \rightarrow 0, \quad \bar{t} = \tilde{t}/\varepsilon.$$

После подстановки (20) в (17) и сравнения членов одного порядка получим последовательность приближенных уравнений:

$$\frac{d^2 g_0}{dt^2} + \frac{dg_0}{dt} = 0, \quad (21)$$

$$\frac{d^2 g_1}{dt^2} + \frac{dg_1}{dt} = \begin{cases} -g_0, & \text{если } \varepsilon\mu_0/\mu_1 \rightarrow 1, \\ 0, & \text{если } \varepsilon\mu_0/\mu_1 \rightarrow 0. \end{cases}$$

Величина  $\mu_0(\varepsilon)$  определяется из начальных условий (19) при выполнении предельного перехода  $\tilde{t} \rightarrow +0$ , что дает  $\mu_0(\varepsilon) = 1$ , а начальные условия соответственно принимают вид

$$g_0(0) = 0, \quad dg_0(0)/d\tilde{t} = 1, \\ g_1(0) = 0, \quad dg_1(0)/d\tilde{t} = 0.$$

В результате для  $g_0$  получим решение типа пограничного слоя:

$$g_0 = 1 - \exp(-\tilde{t}). \quad (22)$$

Решение методом САР может быть получено с любой степенью точности, хотя на практике часто достаточно разложений нулевого порядка. Для получения членов более высокого порядка необходимо потребовать, чтобы правая часть (21) была отличной от нуля, т. е. необходимо положить  $\mu_1 = \varepsilon$ . Тогда уравнение запишется в виде

$$\frac{d^2 g_1}{dt^2} + \frac{dg_1}{dt} = 1 - \exp(-\tilde{t}),$$

а его решение с учетом начальных условий (18) примет вид

$$g_1(\tilde{t}) = (2 - \tilde{t}) - (2 + \tilde{t})\exp(-\tilde{t}).$$

Сращивание внутреннего (20) и внешнего разложений

$$\bar{y}(\bar{t}; \varepsilon) = v_0 h_0 + v_1 h_1 + \dots + v_n h_n + \dots$$

позволяет определить порядки величин членов и коэффициентов интегрирования во внешнем разложении. Другими словами, внешнее разложение «приводится» к внутреннему с помощью подбора коэффициентов при членах одного порядка рассматриваемых разложений. В результате согласования по членам первого порядка имеем

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0; t_0 = \text{const}} \{v_0 A \exp(-\eta t_\eta) + A(1 - t_\eta) \exp(-\eta t_\eta) + \dots - [1 - \exp(-\eta t_\eta / \varepsilon)] - \varepsilon [(2 - \eta t_\eta / \varepsilon) - (2 + \eta t_\eta / \varepsilon) \exp(-\eta t_\eta / \varepsilon)]\} = 0, \\ t_\eta = t / \eta(\varepsilon), \quad \eta = o(\varepsilon). \quad (23)$$

Для членов нулевого порядка из (23) следует условие  $v_0 = 1$ ;  $A_0 = 1$ , а сращивание следующего порядка (после отбрасывания членов более высоких порядков и разложения экспоненты в ряд) дает значение величины  $A_1 = 2$ . Применяя формальный метод разложения искомого решения  $\bar{y}$  и  $\bar{y}$  с соответствующей подстановкой разложений в (15) и (18), после ряда упрощений производим сращивание последних. Окончательно внешнее и внутреннее разложения имеют вид соответственно

$$\bar{y}(\bar{t}; \varepsilon) \approx (-\bar{t}) + \varepsilon(2 - \bar{t})\exp(-\bar{t}) + \dots,$$

и

$$\bar{y}(\tilde{t}; \varepsilon) \approx 1 - \exp(-\tilde{t}) + \varepsilon[(2 - \tilde{t}) - (2 + \tilde{t})]\exp(-\tilde{t}) + \dots,$$

Сложение полученных разложений и вычитание

из суммы общей части, т. е. тех членов, которые сращены, дает равномерно пригодное представление решения (9) на всей области определения  $Y(t)$ :  $0 \leq t \leq +\infty$ .

Окончательное решение, полученное методом САР с точностью до членов третьего порядка после подстановки значений  $\varepsilon$ ,  $t$  и  $t$ , принимает вид

$$h(t) \approx h_0 + \frac{C}{A} \left\{ \left[ \exp\left(-\frac{B}{A}t\right) - \exp\left(-\frac{A}{m}t\right) \right] + \frac{mB}{A^2} \left[ \left(2 - \frac{B}{A}t\right) \exp\left(-\frac{B}{A}t\right) - \left(2 + \frac{A}{m}t\right) \exp\left(-\frac{A}{m}t\right) \right] + \dots \right\}. \tag{24}$$

Решение (24) имеет вид составного разложения (рис. 1), каждый член которого состоит из внутренней части — «дефекта» пограничного слоя и внешней части - асимптотической, причем, как видно из сравнения решения (24) с оценкой [8], уже первый член разложения дает хорошее описание физического процесса при малых значениях  $m$ .

В силу того, что полученное разложение (24) может с любым порядком точности приблизить искомое решение, а модели (1)–(5) правильны,

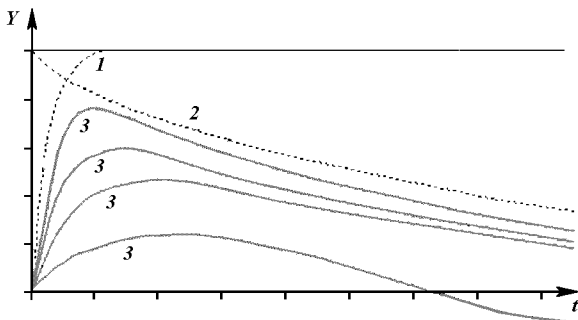


Рис. 1. Решение (4) методом САР: 1 — внутреннее,  $t = +0$ ; 2 — внешнее,  $t \rightarrow +\infty$ ; 3 — решение, полученное на основании САР для различных порядков разложений предельных решений 1 и 2

можно утверждать о существовании решения, а на основании экспериментальной проверки — о высокой степени идентификации рассматриваемых процессов.

Сравнение постоянных времен затухания для предельных решений [8] показывает, что время переходного процесса определяется в основном величиной постоянной времени внешнего решения  $\Delta t_{ext}$ , в то время как величиной  $\Delta t_{int}$  можно пренебречь:

$$\frac{\Delta t_{int}}{\Delta t_{ext}} \approx \frac{mB}{A} \equiv \varepsilon \approx 10^{-6}.$$

Таким образом, решение (9) с высокой точностью аппроксимируется выражением

$$h(t) \approx h_0 + \frac{C}{A} \left[ \exp\left(-\frac{(C_{pl} + C_e)\omega}{\beta f_{i+1}}t\right) \right], \quad i = 0, 1, 2, \dots$$

В силу того, что производные в начальный момент времени испытывают большой скачок, такой вид решений получил название «жесткого».

Переходные процессы также влияют на функциональные характеристики БРИ, искажая тем самым информативные параметры эксперимента. Как следует из [5], сказанное о решении для  $h(t)$  относится также и к другим функциональным характеристикам БРИ:  $V(t)$  — скорости движения, усилию подачи  $F(t)$ , моменту вращения  $M(t)$  и угловой скорости  $\omega(t)$ , развиваемых на РО, (рис. 2). Учитывая монотонный характер  $Z(t)$  и предполагая гомеоморфизм зависимости  $Z(t)$ , решения для последних также имеют вид пограничного слоя.

Полученное выражения для  $h(t)$  является (при выделении начального момента  $i$ -го переходного процесса) обоснованием «жестких» функциональных характеристик БРИ, что позволяет, с одной стороны, определять как глубину залегания слоя и значения его физико-механических параметров, а с

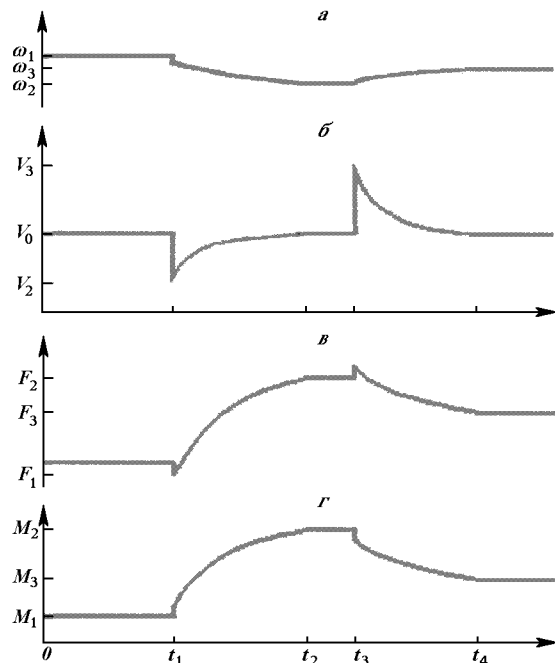


Рис. 2. Динамика функциональных характеристик БРИ: а —  $\omega(t)$ , б —  $V(t)$ , в —  $F(t)$ , г —  $M(t)$

другой — изменения силовых и кинематических характеристик БРИ (рис. 2) в соответствии с забойными характеристиками (3) РО [5, 7].

Постановка и решение задачи (4) с учетом выделяемых «жестких» искажений из данных в конечном итоге позволяет определять действительные функциональные характеристики БРИ и восстанавливать геологический «образ» объекта исследования, включая структуру его строения. Получаемая в реальном масштабе времени информация обеспечивает тем самым процесс управления на основании заданных ЦФ и информативность систем принятия решений БРИ.

Полученное решение (24) задачи (1)—(5) в явном виде по данным энергопотребления при заведомо неизвестных нагрузках на РО БРИ позволило с высокой степенью точности выделять информативные сигналы в процессе реализации НКЭ «Венера-13», «Венера-14», МНКЭ ВЕГА, обеспечивая тем самым получение надежной и достоверной научной информации [1].

1. Алимов О. Д., Фролов А. В., Цокурено А. А. и др. Исследование свойств горных пород Венеры по результатам бурения. — Фрунзе: Илим, 1987.—109 с.
2. Бармин В. П., Алимов О. Д. Результаты работ по созданию буровых автоматов для космических исследований // Буровые автоматы для космических исследований.—1975.— Вып. 2.—С. 7—16.—(№ 090).
3. Найфэ А. Х. Методы возмущений. — М.: Мир, 1976.—456 с.
4. Протодьяконов М. М., Тедер Р. И., Ильницкая Е. И. и др. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород. — М.: Недра, 1981.—191 с.
5. Фролов А. В., Цокурено А. А. Определение крепости породы по току двигателя буровой установки // Исследования интегро-дифференциальных уравнений. — Фрунзе: Илим, 1985.—С. 258—263.
6. Фролов А. В., Цокурено А. А. Обоснование алгоритма

формирования и обработки информации бурового робота-информатора. — НИЦ ИМПУЛЬС АН Кирг. ССР, 1988.—53 с.—(№ 0659).

7. Фролов А. В., Цокурено А. А. Автоматизация бурового эксперимента // Журн. УСиМ.—1991.—№ 2.—С. 124—127.
8. Фролов А. В., Цокурено А. А., Кондратьев В. П. Оценка изменяемости удельной подачи бурового устройства типа ВВ-02 // Буровые и грунтозаборные автоматы для космических исследований.—1983.—Вып. 3.—С. 243—259.—(№ 0566).
9. Цокурено А. А. Научно-методические основы обоснования надежности функционирования бурового робота-информатора и достоверность научной информации на основании системного подхода // Тр. IX Всесоюз. конф. по механике горных пород. — Фрунзе: Илим, 1989.—С. 166—173.
10. Цокурено А. А. Постановка задачи редукиции системы интегральных уравнений Вольтерра // Интегральні перетворення та їх застосування до крайових задач. — Київ: НАН України, Інститут математики.—1997.—Вип. 14.—С. 236—242.
11. Цокурено А. А. Информационно-вычислительный комплекс и обратные задачи. — Київ: Наук. думка, 1997.—281 с.
12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. — М.: Наука, 1974.—712 с.

---

#### ENSURING THE INFORMATION FROM A DRILL ROBOT UNDER THE ADAPTIVE CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN SPACE EXPERIMENTS

A. A. Tsockurenko

We formulate the problem of the dynamics of the drill robot transmission in extreme open space conditions (as a 2-nd dynamics problem under indefinite loads on a robot's working organ). We found a solution which ensures the removal of any transitional processes. The allocated information secures the data on the object being studied and an adaptive control over robot's energy consumption. Basically new results and were obtained new relationships were derived. They were successfully tested in different scientific space experiments.