

ANALYSIS OF SOFTWARE FOR AUTOMATIC PERFORMANCE OF SPACECRAFT TESTS

Automated creation of OCS documentation at the stage of electrical tests is reviewed in this paper. A comparative analysis of software for automatic performance available in the market today.

Keywords: automatic performance, life cycle, business-systems models, informational space, earth-based tests.

© Хасанова Р. А., 2012

УДК 621.926.4

А. Н. Щепин, Б. С. Каменецкий, Г. Н. Лимаренко, В. А. Титов

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ОРИГИНАЛЬНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ\*

Дается оценка динамических характеристик нового универсального измельчителя сельскохозяйственного сырья и других материалов на основе оригинальной зубчатой передачи.

Ключевые слова: динамика машин, зубчатое зацепление, вибродиагностика, измельчитель.

В Сибирском федеральном университете (СФУ) создан новый тип универсального измельчителя сырья и материалов [1; 2]. Измельчитель выполнен на основе оригинальной зубчатой передачи внутреннего зацепления [3; 4].

Для исследований измельчителя создан экспериментальный стенд (рис. 1), представляющий собой программно-аппаратный комплекс, реализованный на базе техники Siemens и технологий National Instruments, включающий в себя измельчитель, клиноременную передачу, соединяющую его с асинхронным электродвигателем Siemens мощностью 5,5 кВт (максимальная частота вращения 1500 об/мин), пульт управления, компьютер с управляющим ПО на базе LabVIEW и Simatic Net; шкаф управления [5].

него зацепления, образованная вал-шестерней 3 с наружными зубьями и колеса 4. Колесо выполнено в виде полого цилиндра, по периметру которого равномерно расположены зубья 6, боковые поверхности которых образуют окна 5. Вал-шестерня и колесо установлены на подшипниках качения в расточках корпуса. Окно 7 для загрузки сырья выполнено сверху корпуса, а для отвода продукта – снизу и в нем установлена решетка 8 с отверстиями.

В измельчителе реализован способ «экструзионного измельчения». Сырье из бункера через окно 7 поступает внутрь колеса, загружается в окна 5. При вращении передачи зубья вал-шестерни «закрывают» окна с сырьем. В результате этого под действием сдавливающих и сдвиговых усилий, создаваемых зубьями вал-шестерни, сырье измельчается. Готовый продукт отводится через отверстия в решетке.

Кинематическая схема измельчителя показана на рис. 2.

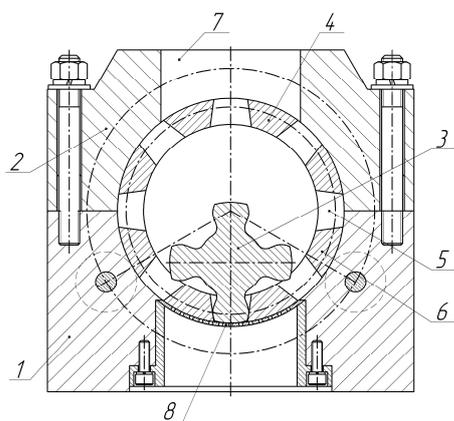


Рис. 1. Конструктивная схема измельчителя

В разъемном корпусе 1 с крышкой 2 установлен редуктор – оригинальная зубчатая передача внутрен-

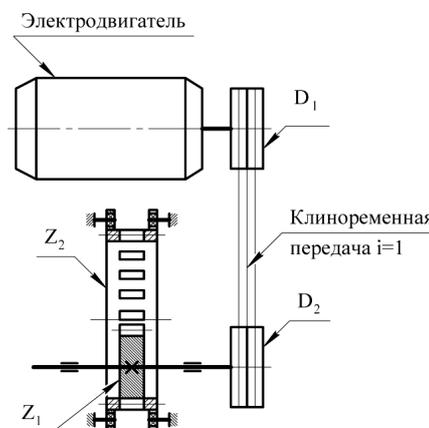


Рис. 2. Кинематическая схема привода измельчителя

\* Работа выполнена в рамках проекта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., по лоту шифр «2011-1.2.2-220-010».

Оценка динамических характеристик измельчителя выполнена расчетным и экспериментальным методами. При этом рассматривались амплитудно-частотные характеристики рабочих органов, запас устойчивости динамической системы при изменении рабочих нагрузок, значения коэффициентов динамичности в опорах и передачах.

Динамическая система измельчителя представлена в виде многомерной модели, учитывающей совместное действие крутильных и поперечных (в двух взаимно перпендикулярных плоскостях) колебаний приведенных масс привода (рис. 3). Выходное звено – колесо, воспринимающее окружные и радиальные усилия, действующие в процессе измельчения, опирается на приведенные к местам установки масс упругие опоры.

Для расчета динамики измельчителя были определены параметры его динамической системы по методике [6]. При расчете поперечных колебаний пространственная динамическая модель раскладывалась на две подсистемы: вертикальную и горизонтальную,

для каждой из которых определены динамические параметры.

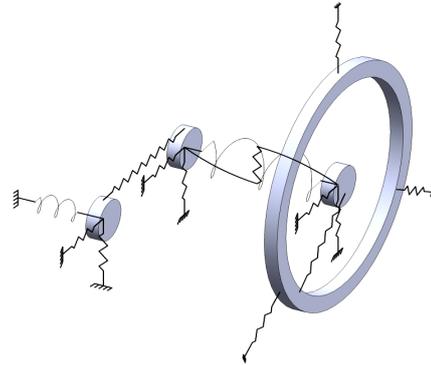


Рис. 3. Динамическая модульная модель привода измельчителя

Получены следующие матрицы инерции и жесткости:

$$\begin{pmatrix} Adv_{0,0} + Arem_{0,0} & Adv_{0,1} + Arem_{0,1} & Arem_{0,2} & Arem_{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Adv_{1,0} + Arem_{1,0} & Adv_{1,1} + Arem_{1,1} & Arem_{1,2} & Arem_{1,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Arem_{2,0} & Arem_{2,1} & Arem_{2,2} + Aval_{0,0} & Arem_{2,3} + Aval_{0,1} & Aval_{0,2} & Aval_{0,3} & 0 & 0 \\ Arem_{3,0} & Arem_{3,1} & Arem_{3,2} + Aval_{1,0} & Arem_{3,3} + Aval_{1,1} & Aval_{1,2} & Aval_{1,3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Aval_{2,0} & Aval_{2,1} & Aval_{2,2} + Azyb_{0,0} & Aval_{2,3} + Azyb_{0,1} & Azyb_{0,2} & Azyb_{0,3} \\ 0 & 0 & Aval_{3,0} & Aval_{3,1} & Aval_{3,2} + Azyb_{1,0} & Aval_{3,3} + Azyb_{1,1} & Azyb_{1,2} & Azyb_{1,3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Azyb_{2,0} & Azyb_{2,1} & Azyb_{2,2} & Azyb_{2,3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Azyb_{3,0} & Azyb_{3,1} & Azyb_{3,2} & Azyb_{3,3} \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} Cdv_{0,0} + Crem_{0,0} & Cdv_{0,1} + Crem_{0,1} & Crem_{0,2} & Crem_{0,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Cdv_{1,0} + Crem_{1,0} & Cdv_{1,1} + Crem_{1,1} & Crem_{1,2} & Crem_{1,3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Crem_{2,0} & Crem_{2,1} & Crem_{2,2} + Cval_{0,0} & Crem_{2,3} + Cval_{0,1} & Cval_{0,2} & Cval_{0,3} & 0 & 0 \\ Crem_{3,0} & Crem_{3,1} & Crem_{3,2} + Cval_{1,0} & Crem_{3,3} + Cval_{1,1} & Cval_{1,2} & Cval_{1,3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Cval_{2,0} & Cval_{2,1} & Cval_{2,2} + Czyb_{0,0} & Cval_{2,3} + Czyb_{0,1} & Czyb_{0,2} & Czyb_{0,3} \\ 0 & 0 & Cval_{3,0} & Cval_{3,1} & Cval_{3,2} + Czyb_{1,0} & Cval_{3,3} + Czyb_{1,1} & Czyb_{1,2} & Czyb_{1,3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Czyb_{2,0} & Czyb_{2,1} & Czyb_{2,2} + Ck & Czyb_{2,3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Czyb_{3,0} & Czyb_{3,1} & Czyb_{3,2} & Czyb_{3,3} + Ckf \end{pmatrix},$$

где  $Adv_{ij}$  – элементы матрицы инерции двигателя;  $Arem_{ij}$  – ременной передачи;  $Aval_{ij}$  – вал-шестерни;  $Azyb_{ij}$  – зубчатой передачи. Аналогично обозначаются элементы матрицы жесткости.

Расчет динамических характеристик привода измельчителя реализован в программе автоматизации математических, инженерно-технических и научных расчетов MathCAD [7].

Исходя из конструкции получен спектр собственных частот привода измельчителя для поперечных колебаний в вертикальной плоскости:

$$f_{\text{пверт}} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \begin{pmatrix} 1972,677 \\ 128,385 \\ 49,646 \\ 261,952 \end{pmatrix}, \text{ Гц};$$

в горизонтальной плоскости:

$$f_{\text{пгор}} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \begin{pmatrix} 180,139 \\ 2648,585 \\ 2139716,144 \\ 12211,35118 \end{pmatrix}, \text{ Гц};$$

спектр собственных частот привода измельчителя для крутильных колебаний:

$$f_{\text{крут}} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \begin{pmatrix} 29,291 \\ 106,837 \\ 285,987 \\ 1072,650 \end{pmatrix}, \text{ Гц}.$$

В ходе экспериментального исследования использован виброанализатор «Корсар+».

Вибродиагностика измельчителя проводилась на холостом ходу на частоте 500 об/мин и под нагрузкой при измельчении зерна на частотах вращения 300, 500 и 750 об/мин.

Параметры станда, значимые для виброустойчивости, следующие: тип двигателя 1LA71648A810; подшипники в опорах вал-шестерни – 80206, в опорах колеса – 80301; номинальная мощность двигателя  $P_H = 5,5$  кВт; передаточное число ременной передачи  $U_{рем} = 1$ ; передаточное отношение рабочего органа измельчителя  $U_{ред} = 2$ ; число зубьев шестерни  $Z_1 = 4$ ; число зубьев колеса  $Z_2 = 8$ .

Параметры вибрации измеряли в местах расположения подшипниковых опор, в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, в четырех контрольных точках (рис. 4, вторая и четвертая контрольные точки не показаны).

Полученный вибрационный сигнал интерпретируется программным обеспечением «Атлант», входящим в комплект поставки вибронализатора «Корсар+», в амплитудно-частотную характеристику (АЧХ).

Для каждого измерения получены частоты колебаний и соответствующие им амплитуды (рис. 5). Результаты сведены в табл. 1, 2, в которых каждой гармонике сигнала, измеренного во взаимно-перпендикулярных плоскостях, соответствует его частота и амплитуда.

Полученная информация позволяет сопоставить измеренные частоты, с возмущающими частотами, действующими в различных частях конструкции и

проанализировать их близость к резонансу. Формулы расчета возмущающих частот приведены в работе [6].



Рис. 4. Расположение контрольных точек измерения вибрации:

- 1 – задняя опора вал шестерни (без выходного конца вала);
- 2 – передняя опора вал-шестерни (с выходным концом вала);
- 3 – задняя опора колеса; 4 – передняя опора колеса

Результаты расчета возмущающих частот оформлены в виде табл. 1.

Для каждого измерения вычислены коэффициенты близости к резонансу, которые показывают попадание возмущающей частоты в полосу реонанса. В табл. 2 приведены результаты расчетов при частоте вращения электродвигателя 350 об/мин.

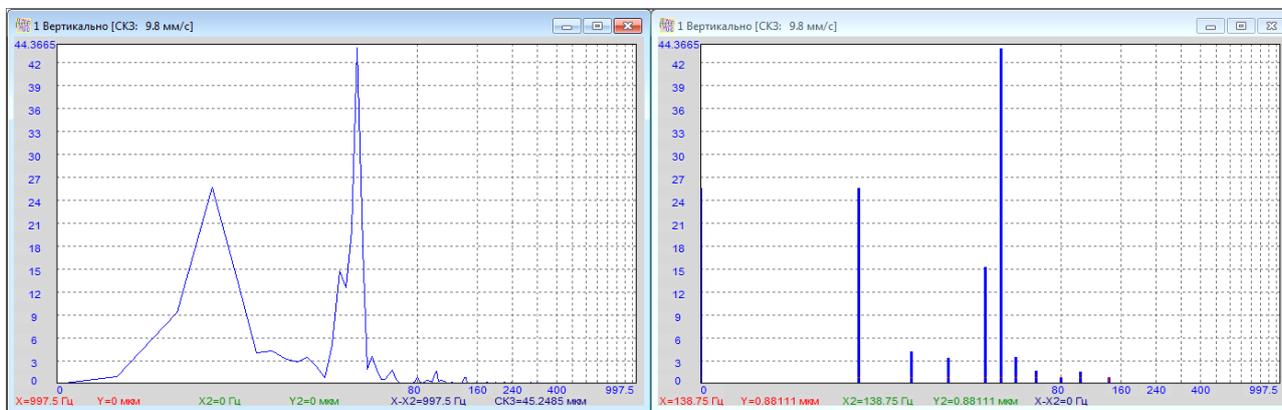


Рис. 5. АЧХ одного из измерений (слева) и разложение ее в гармонический ряд Фурье (справа)

Таблица 1

Результаты расчета возмущающих частот

| Обороты двигателя, об/мин | $f_1$ , Гц | $f_{22}$ , Гц | $f_{ш}$ , Гц | $f_k$ , Гц | $f_{5нар}$ , Гц | $f_{5внут}$ , Гц | $f_{5сеп}$ , Гц | $f_{8нар}$ , Гц | $f_{8внут}$ , Гц | $f_{8сеп}$ , Гц |
|---------------------------|------------|---------------|--------------|------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 300                       | 5          | 5             | 20           | 10         | 18              | 27               | 2               | 8               | 12               | 1               |
| 500                       | 8,3        | 8,3           | 33,3         | 16,7       | 30              | 45               | 3,33            | 13,33           | 20               | 1,66            |
| 750                       | 12,5       | 12,5          | 50           | 25         | 45              | 67,5             | 5               | 20              | 30               | 2,5             |

Примечание. Введены следующие обозначения возмущающих частот: электродвигателя  $f_1$ , ведущего шкива ременной передачи  $f_{21}$ , ведомого шкива ременной передачи  $f_{22}$ , зубцовая шестерни  $f_{ш}$ , зубцовая колеса  $f_k$ , подшипника в опорах вал-шестерни от взаимодействия тел качения с наружным кольцом  $f_{нар}$ , с внутренним кольцом  $f_{внут}$ , с сепаратором  $f_{сеп}$ .

Таблица 2

**Коэффициенты близости к резонансу**

| Измеренная частота, Гц | Возмущающая частота, Гц |        |        |        |        |        |        |         |        |
|------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
|                        | 1,667                   | 3,333  | 8,333  | 13,333 | 16,667 | 20     | 30     | 33,33   | 45     |
| 8,371                  | 5,022                   | 2,512  | 1,005* | 0,628  | 0,513  | 0,42   | 0,279  | 0,251   | 0,186  |
| 23,988                 | 14,39                   | 7,197  | 2,87   | 1,799  | 1,469  | 1,199* | 0,80** | 0,720   | 0,533  |
| 32,7                   | 19,61                   | 9,811  | 3,92   | 2,453  | 2,002  | 1,63   | 1,090* | 0,981*  | 0,727  |
| 41,24                  | 24,74                   | 12,376 | 4,95   | 3,094  | 2,526  | 2,06   | 1,375  | 1,238** | 0,917* |
| 59,182                 | 35,50                   | 17,756 | 7,102  | 4,439  | 3,623  | 2,95   | 1,973  | 1,776   | 1,315  |
| 67,3                   | 40,37                   | 20,192 | 8,07   | 5,048  | 4,120  | 3,36   | 2,243  | 2,019   | 1,496  |
| 79,25                  | 47,54                   | 23,779 | 9,51   | 5,944  | 4,853  | 3,96   | 2,642  | 2,378   | 1,761  |
| 87,5                   | 52,49                   | 26,253 | 10,5   | 6,563  | 5,357  | 4,37   | 2,917  | 2,625   | 1,944  |
| 100                    | 59,98                   | 30,003 | 12,0   | 7,50   | 6,12   | 5,0    | 3,33   | 3,0     | 2,22   |
| 132,79                 | 79,66                   | 39,844 | 15,94  | 9,96   | 8,13   | 6,64   | 4,43   | 3,98    | 2,95   |

Примечание: \*значения с недопустимым уровнем близости к резонансу; \*\*совпадающие с частотами резонанса.

Таблица 3

**Оценка динамического качества по коэффициентам близости к резонансу**

| Возмущающая частота | Частота вращения электродвигателя, об/мин |        |              |                         |              |        |              |                         |              |        |              |                         |
|---------------------|---|--------|--------------|-------------------------|--------------|--------|--------------|-------------------------|--------------|--------|--------------|-------------------------|
|                     | 300                                       |        |              |                         | 500          |        |              |                         | 750          |        |              |                         |
|                     | Недопустимая                              | Плохая | Сумма оценок | Близость к резонансу, % | Недопустимая | Плохая | Сумма оценок | Близость к резонансу, % | Недопустимая | Плохая | Сумма оценок | Близость к резонансу, % |
| $f_1$               | 0   | 0      | 0            | 0                       | 6            | 1      | 7            | 0,556                   | 12           | 2      | 14           | 1,01                    |
| $f_{22}$            | 0   | 0      | 0            | 0                       | 6            | 1      | 7            | 1,496                   | 12           | 2      | 14           | 1,01                    |
| $f_3$               | 3   | 0      | 3            | 0,641                   | 14           | 6      | 20           | 4,273                   | 16           | 16     | 32           | 2,309                   |
| $f_4$               | 1   | 2      | 3            | 0,641                   | 3            | 3      | 6            | 1,282                   | 10           | 5      | 15           | 1,082                   |
| $f_{5нар}$          | 2   | 3      | 5            | 1,068                   | 18           | 1      | 19           | 4,059                   | 22           | 3      | 25           | 1,804                   |
| $f_{5внут}$         | 3   | 2      | 5            | 1,068                   | 20           | 1      | 21           | 4,487                   | 21           | 1      | 22           | 1,587                   |
| $f_{5сеп}$          | 0   | 0      | 0            | 0                       | 0            | 0      | 0            | 0                       | 0            | 0      | 0            | 0                       |
| $f_{6нар}$          | 2   | 1      | 3            | 0,641                   | 8            | 1      | 9            | 1,923                   | 7            | 4      | 11           | 0,793                   |
| $f_{6внут}$         | 3   | 1      | 4            | 0,855                   | 2            | 3      | 5            | 1,068                   | 11           | 1      | 12           | 0,866                   |
| $f_{6сеп}$          | 0   | 0      | 0            | 0                       | 0            | 0      | 0            | 0                       | 0            | 0      | 0            | 0                       |

По рассчитанным коэффициентам близости к резонансу можно оценить динамическое качество элементов конструкции измельчителя.

В виду стохастичности процессов, происходящих при работе машин, анализ результатов вибродиагностики сводится к выявлению коэффициентов близости к резонансу частот, имеющих недопустимые и плохие оценки на определенных режимах работы машины, и расчет их количества в общем количестве замеров при определенной частоте вращения электродвигателя.

Результаты анализа для различных частот вращения электродвигателя представлены в табл. 3.

Согласно табл. 3, равной при частоте вращения электродвигателя привода измельчителя 300 об/мин, существенное влияние на уровень вибрации оказывают возмущающие частоты подшипниковых опор вал-шестерни. Возмущающие зубцовые частоты и частоты опор колеса вносят примерно одинаковое возмущение в систему, но оно значительно ниже возмущения от подшипниковых опор вал-шестерни.

При частоте вращения электродвигателя 500 об/мин существенное влияние на уровень вибрации оказывают возмущающие частоты подшипниковых опор вал-шестерни, а так же возмущающая зубцовая частота. По сравнению с этими возмущающими частотами, остальные возмущающие воздействия существенно меньше.

При частоте вращения электродвигателя 750 об/мин основное возмущающее воздействие в систему вносит возмущающая зубцовая частота вал-шестерни, воздействие подшипниковых опор вал-шестерни также велико.

По результатам исследований динамики привода видно, что на частоте вращения 500 об/мин наблюдаются нежелательные коэффициенты близости к резонансу при крутильных колебаниях (расчетная частота 29 Гц) вал-шестерни в подшипниковых опорах, как и при поперечных (расчетная частота 49 Гц) колебаниях в подшипниковых опорах вал-шестерни. На частоте вращения двигателя 750 об/мин коэффициенты

близости к резонансу в этих элементах принимают нежелательное значение на частотах 29 и 49 Гц.

На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Подшипниковые опоры вал-шестерни и сама шестерня вносят значительные возмущения в упругую систему – необходимо изменить конструкцию опор и вал-шестерни.

2. Внести изменения в конструкцию измельчителя – усилить подшипники вал-шестерни, изменить передаточное отношение зубчатой передачи измельчителя и ременной передачи привода, провести подбор соотношения массы и моментов инерции шкивов.

#### Библиографические ссылки

1. Пат. № 2412006 Российская Федерация, МПК ВО2С 15/16. Измельчитель / В. А. Титов, заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО СФУ (RU); опуб. 20.02.2011, Бюл № 5.

2. Пат. № 2424057 Российская Федерация, МПК ВО2С 15/16, 7/06. Измельчитель-кормопроизводитель / В. А. Титов, заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО СФУ (RU); опуб. 20.07.2011, Бюл № 20.

3. Титов В. А., Колбасина Н. А. Геометрия оригинальной цилиндрической передачи внутреннего зацепления для измельчителя материалов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2011. № 3. С. 91–93.

4. Морозов Д. И., Колбасина Н. А., Титов В. А. Автоматизированное построение трехмерной параметрической модели для проектирования передачи внутреннего зацепления механизма измельчителя // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2010. № 3. С. 87–90.

5. Экспериментальный стенд на базе техники SIEMENS и технологий NATIONAL INSTRUMENTS для исследования измельчителя материалов / В. А. Титов, А. А. Рыбин, Ю. А. Пикалов и др. // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2011. № 1. С. 119–124.

6. Динамика машин. Анализ динамического качества механических приводов при проектировании : учеб. пособие / Г. Н. Лимаренко, А. Н. Щепин, М. П. Головин и др. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006.

7. А. с. о регистрации программы для ЭВМ № 2012612813 / Б. С. Каменецкий, Г. Н. Лимаренко, А. Н. Щепин ; заявитель и правообладатель ФГОУ ВПО СФУ (RU); дата рег. 21.03.2012.

A. N. Schepin, B. S. Kamenetskiy, G. N. Limarenko, V. A. Titov

#### ASSESSMENT OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF DESINTEGRATOR WITH ORIGINAL TOOTH GEARING

*The authors give an assessment of dynamic characteristics of a new universal grinder of agricultural raw materials and other materials based on an original tooth gearing.*

*Keywords: dynamics of machines, gear, vibration based diagnostics, grinder.*

© Щепин А. Н., Каменецкий Б. С., Лимаренко Г. Н., Титов В. А., 2012

УДК 519.6+004.4:504.05

О. Э. Якубайлик

#### ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Рассматриваются особенности, проблемы и задачи формирования информационной инфраструктуры системы экологического мониторинга, обсуждаются ее характеристики и программно-технологическая платформа. Приводятся примеры – система экологического мониторинга территорий в Красноярском крае и решение задач геоинформационного обеспечения экологического мониторинга особоохраняемых территорий с помощью технологий геопортала.*

*Ключевые слова: экологический мониторинг, геопортал, ГИС, геопространственные данные, веб-картография, веб-сервисы.*

Эффективность мониторинга состояния окружающей природной среды в значительной степени определяется его информационно-аналитическим обеспечением. Чтобы успешно управлять территорией и рационально распоряжаться ее ресурсами, нужно хорошо представлять себе обобщенные характери-

сти ее состояния и иметь возможность в кратчайшие сроки в наглядной форме получать необходимые для принятия решений детальные сведения об объектах управления. Эти потребности могут быть обеспечены путем создания современной информационно-коммуникационной инфраструктуры экологического