

УДК 624.01; 624.012.4

С.А. Окусок, инженер, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (e-mail: okusoksa@mail.ru)

РАСЧЕТ МОМЕНТА ОТ УСИЛИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБЖАТИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Статья написана в развитие метода расчета железобетонных конструкций на основе нелинейной деформационной модели, а именно расчета предварительно напряженных железобетонных элементов из высокопрочного бетона. Проанализирована возможность применения нелинейной деформационной модели бетона для подбора параметров предварительного напряжения железобетонного элемента и произведены соответствующие вычисления. В расчетах использовались трехлинейные диаграммы деформирования для бетона класса В60, построенные в соответствии с рекомендациями и предложениями СП 63.13330.2012. Было рассмотрено два типа сечений железобетонного элемента: с симметричным и несимметричным армированием. Для каждого типа сечения производились вычисления для трех стадий работы: стадия упругих деформаций, стадия развития пластических деформаций, стадия пластических деформаций. На каждой стадии анализировалось напряженно-деформированное состояние железобетонного элемента. Ограничением расчетов служило условие отсутствия трещин в железобетонном элементе от усилия предварительного обжатия. Основываясь на данных, полученных в результате расчета по нелинейной деформационной модели, были проведены расчеты усилий предварительного обжатия в соответствии с требованиями и рекомендациями СП 63.13330.2012 и СНиП 2.03.01-84*. В ходе сравнения результатов расчетов, произведенных по различным методикам, было выявлено значительное (от -30,3% до 42,6%) расхождение значения величины усилия предварительного обжатия бетона. Расхождение значений по сравнению с результатами, вычисленными по рекомендациям СП 63.13330.2012, постоянно на всех стадиях работы железобетонного элемента, а расхождение значений, полученных по СНиП 2.03.01-84*, постепенно уменьшается по мере увеличения усилия предварительного обжатия и развития неупругих деформаций в растянутой зоне бетона.

Ключевые слова: нелинейная деформационная модель бетона, предварительное напряжение, диаграмма деформирования бетона, напряженно – деформированное состояние, усилие предварительного обжатия.

Одной из наиболее важных проблем в развитии железобетонных конструкций является увеличение пролета конструкции при минимизации размеров ее поперечного сечения. При увеличении пролета, помимо прочности, важную роль играют такие характеристики, как жесткость и трещиностойкость железобетонного элемента.

Основным способом увеличения жесткости и трещиностойкости железобетонного элемента является использование предварительного напряжения арматуры.

При проектировании предварительно напряженных железобетонных конструкций важнейшую роль играет определение параметров предварительного напряжения: усилия предварительного обжатия бетона P и напряжения в арматурных стержнях σ_{sp} .

В данной статье произведем расчет параметров предварительного напряжения арматуры с использованием нелинейной диаграммы деформирования бетона, и сравним полученные значения с результатами расчетов по действующим нормативным документам. Вопрос выбора расчетной модели для определения жесткости железобетонного элемента также рассмотрен в статье [5].

Для подбора параметров предварительного напряжения и определения НДС железобетонного, СП 63.13330.2012 [1] рекомендуют следующую формулу:

$$\sigma_{bp} = \frac{P_{(1)}}{A_{red}} \pm \frac{P_{(1)} \cdot e_{op} \cdot y}{I_{red}} \pm \frac{M \cdot y}{I_{red}}, \quad (1)$$

где σ_{bp} – напряжение в бетоне от усилия предварительного обжатия;

$P_{(1)}$ – усилие предварительного обжатия бетона с учетом первых потерь;

M – изгибающий момент от внешней нагрузки, действующий в стадии обжатия;

y – расстояние от центра тяжести сечения до рассматриваемого волокна;

e_{0p} – эксцентриситет усилия $P_{(1)}$ относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента.

Анализ формулы (1) показывает, что в ней не учтено влияние пластических деформаций бетона и область ее применения ограничена лишь упругой стадией работы железобетонного элемента.

В СНиП 2.03.01-84* [4] для расчета момента усилия предварительного напряжения арматуры была предложена следующая формула:

$$M_{гр} = P(e_{0p} \pm r), \quad (2)$$

где P – усилие предварительного напряжения арматуры;

r – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, трещинообразование которой проверяется;

e_{0p} – эксцентриситет усилия P относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента.

$$r = \varphi \frac{W_{red}}{A_{red}},$$

где W_{red} , A_{red} – геометрические характеристики приведенного сечения;

$$\varphi = 1.6 - \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}}, \quad 0.7 \leq \varphi \leq 1.0;$$

σ_b – максимальное напряжение в сжатом бетоне от усилия предварительного напряжения, вычисленного как для упругого тела по приведенному сечению.

В формуле (2) возможные неупругие деформации бетона от предварительного напряжения учтены при помощи коэффициента φ .

Для оценки зависимости момента $M_{гр}$ от усилия предварительного обжатия P вычислим значения $M_{гр}$ на основе нелинейной деформационной модели. Расчеты выполним для двух типов сечений железобетонных элементов: с несимметричным армированием и с симметричным армированием. Поперечные сечения железобетонных элементов показаны на рисунке 1.

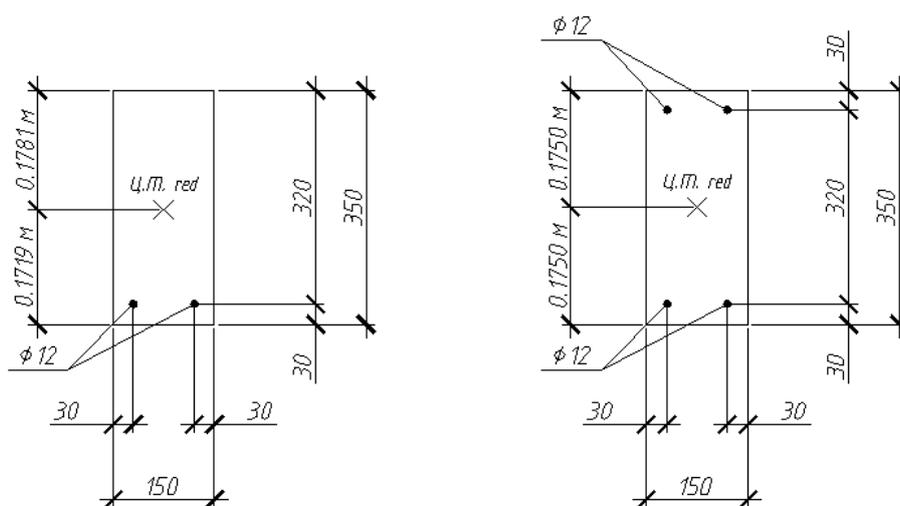


Рис. 1. Поперечные сечения железобетонных элементов при несимметричном и симметричном армировании

Вычисления будем производить на основе нелинейной деформационной модели с использованием трехлинейной диаграммы с параметрами, рекомендованными СП [1]. Диаграммы для бетона кл. В60 представлены на рисунке 2.

Расчетные характеристики для сечения: бетон кл. В60 ($R_{bt,ser}=R_{bt,n}=2.75$ МПа, $R_{b,ser}=R_{b,n}=43$ МПа, $E_b=39500$ МПа), арматура стальная горячекатаная класса А800 ($R_{s,ser}=R_{sn}=800$ МПа, $E_s=2 \cdot 10^5$ МПа), с предварительным напряжением арматуры.

Вычислим предельное значение момента от внешней нагрузки, при котором не образуются трещины в зоне сечения, растянутой от действия усилия предварительного обжатия. Методика вычисления момента трещиностойкости железобетон-

ного элемента с использованием диаграмм состояния бетона достаточно подробно описана в [2, 3]. Вычисления будем производить для трех стадий работы железобетонного элемента: упругая стадия работы (стадия I), стадия развития пластических деформаций (стадия II), стадия пластических деформаций (стадия III).

Для наглядности и удобства вычислений эпюры деформаций ϵ и напряжений σ показаны на рисунках 3 и 4.

Взяв за основу данные, полученные по расчету по НДМ, вычислим значения усилия предварительного напряжения по методикам [1] и [2].

Результаты расчетов приведены в таблице.

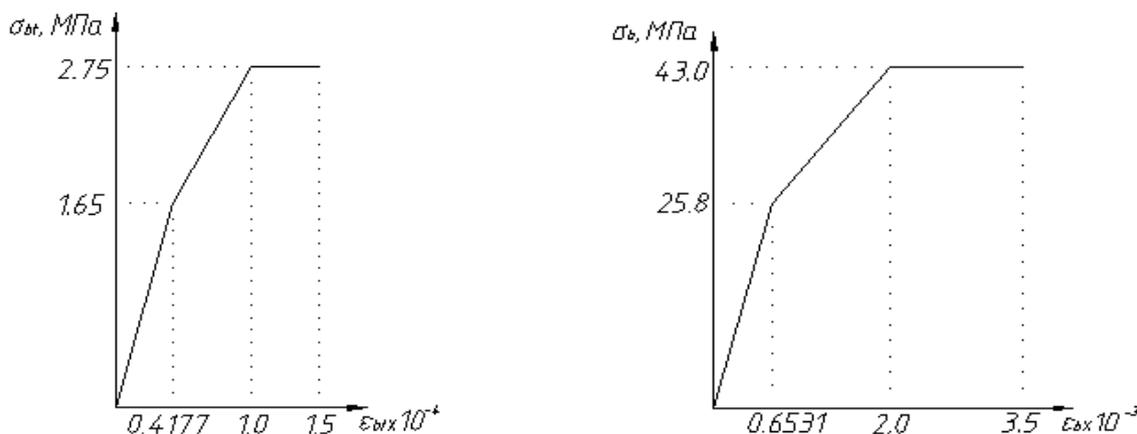


Рис. 2. Трехлинейные диаграммы для бетона кл. В60 при растяжении и сжатии

Сравнение результатов расчета усилия предварительного напряжения

Стадия работы	Значение момента $M_{гр}$, кНм	Значение усилия $P_{(I)}$, кН				
		по НДМ	по [1]	отличие от НДМ, %	по [4]	отличие от НДМ, %
Несимметричное армирование						
I стадия работы	5.18	36.52	25.44	-30.3	52.09	42.6
II стадия работы	10.43	78.42	54.96	-29.9	104.88	33.7
III стадия работы	13.25	105.16	75.99	-27.7	133.24	26.7
Симметричное армирование						
I стадия работы	5.50	37.93	26.74	-29.5	53.73	41.7
II стадия работы	11.24	82.04	58.41	-28.8	109.80	33.8
III стадия работы	14.44	111.94	79.93	-28.6	141.06	26.0

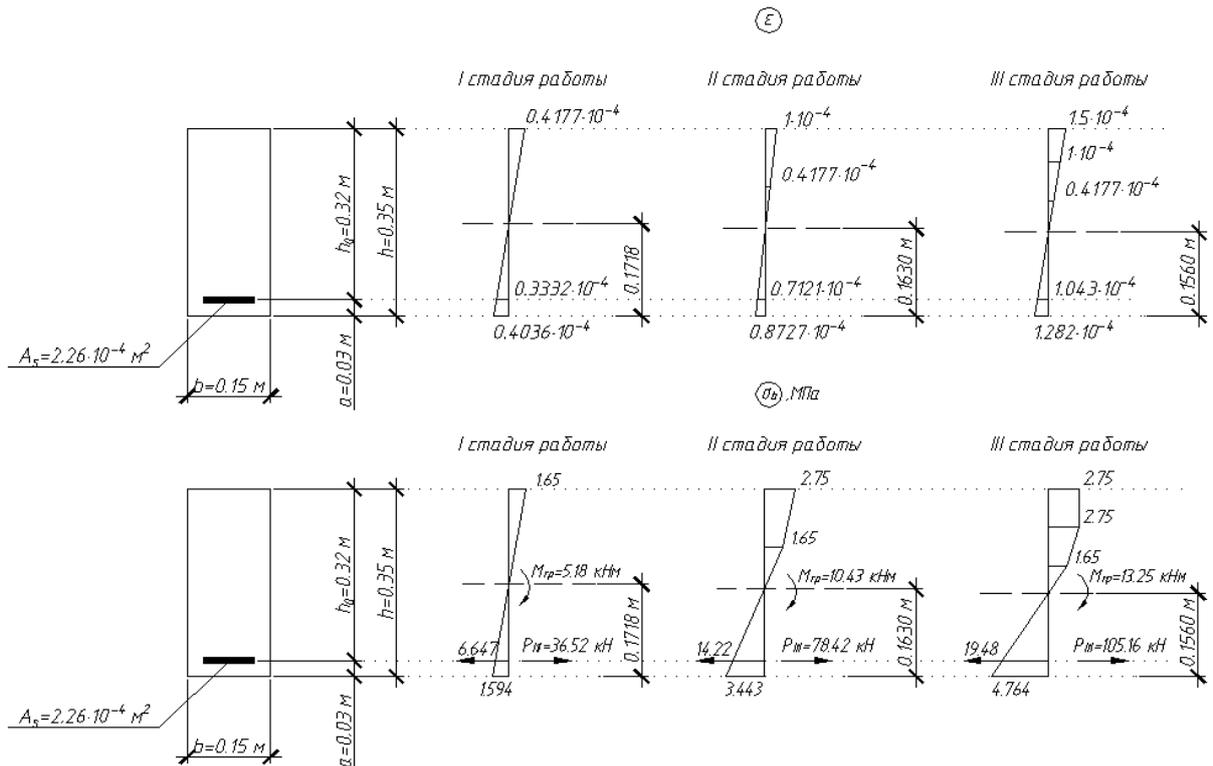


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние железобетонного образца с несимметричным армированием

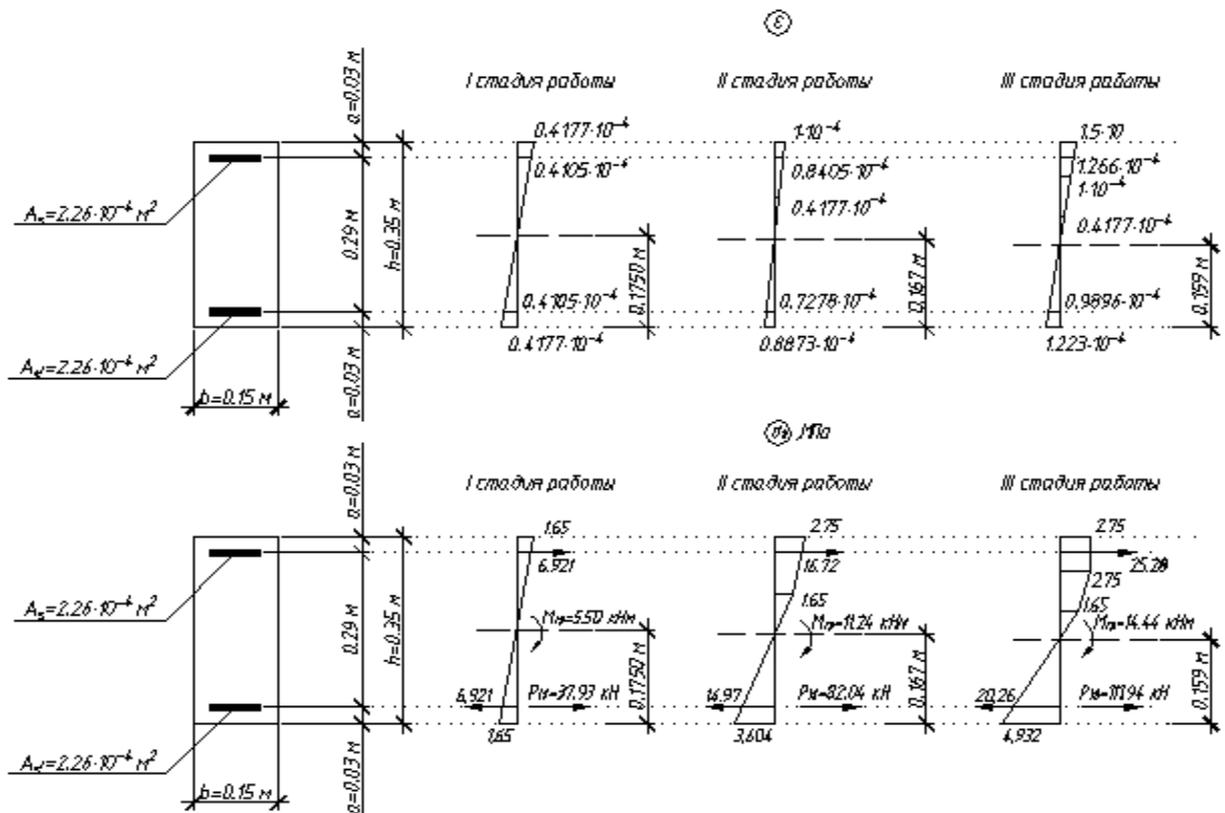


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние железобетонного образца с симметричным армированием

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Значения усилия предварительного обжатия, вычисленное в соответствии с рекомендациями СП 63.13330.2012 [1], меньше усилия, вычисленного на основе нелинейной деформационной модели. Разница постоянна и составляет в среднем 30% на всех стадиях работы железобетонного элемента как с несимметричным, так и с симметричным армированием.

2. Значение усилия предварительного обжатия, вычисленное в соответствии с рекомендациями норм [4], значительно превышает значение усилия, вычисленного на основе нелинейной деформационной модели. Разница составляет от 42.6% до 26% и снижается по мере развития неупругих деформаций в бетоне.

3. Относительное смещение нейтральной оси от центра тяжести приведенного сечения изменяется в пределах (0 – 0.046)h и увеличивается по мере развития в сечении элемента пластических деформаций. Для точного вычисления значения момента $M_{гр}$ необходимо получить зависимость величины относительного смещения нейтральной оси железобетонного элемента от его напряженно-деформированного состояния.

S.A. Okusok, Engineer, Bryansk state engineering and technological university
(e-mail: okusoksa@mail.ru)

CALCULATION OF PRE-STRESSING LOAD MOMENT OF A HIGH-PERFORMANCE REINFORCED CONCRETE ELEMENT BASED ON A NONLINEAR DEFORMATION MODEL

The article is a part of the development of the method for reinforced concrete structural analysis based on a nonlinear deformation model, in particular, for analysis of high-performance pre-stressed concrete elements. The possibility to apply a nonlinear deformation model to select parameters of reinforced concrete pre-stress elements was analyzed, and relevant calculations were performed. Three-line diagrams of B60 concrete deformation, built according to the recommendations and assumptions of SP 63.13330.2012 were used. Two types of the cross-section of a reinforced concrete element were studied: with symmetrical and nonsymmetrical reinforcement. For each cross-section type calculations for three phases were carried out: an elastic strain phase, a plastic strain involvement phase, and a plastic strain phase. At each phase, reinforced concrete element stress and strain behavior was analyzed. Calculations were limited by the condition of lack of cracks in the reinforced element caused by the pre-stressing load. Based on these data obtained as the calculation results for a non-linear deformation model, calculation of pre-stressing load was carried out in compliance with requirements and recommendations of SP 63.13330.2012 and SNiP 2.03.01-84. Comparing the data obtained according to different methods, significant divergence in values of pre-stressing load was found out (30,3% - 42,6%) The divergence in values compared with the values calculated according to recommendations in SP 63.13330.2012 is constant at all phases of reinforced element behavior, and*

Список литературы

1. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Введ. 2013-01-01, изд. официальное. – М.: Минрегион России, 2013. – 155 с.

2. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности трещиностойкости и деформациям: монография. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – С. 210-213.

3. Окусок С.А. Расчет момента трещинообразования железобетонного элемента без предварительного напряжения арматуры на основании требований СП 63.13330.2012 // Строительство и реконструкция. – 2015. - №6. – С. 14-20

4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.

5. Ключева Н.В., Горностаев С.И. К вопросу выбора расчетной модели для оценки жесткости железобетонных конструкций // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 1 (64). – С. 71-74.

Получено 11.07.16

divergence in values obtained as per SNiP 2.03.01-84 slowly decreases with the increase of pre-stressing loads and inelastic deformation in the tensile zone of concrete.*

Key words: *nonlinear concrete deformation model, pre-stressing, concrete deformation diagram, stress-strain behavior, pre-stressing load.*

References

1. SP 63.13330.2012. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozeniia: aktualizirovannaja redakcija SNiP 52-01-2003. Vved. 2013-01-01, izd. oficial'noe. – M.:Minregion Rossii, 2013. – 155 s.

2. Kodysh Je.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. Raschet zhelezobetonnykh konstrukcij iz tjazhelogo betona po prochnosti treshhinostojkosti i deformatsijam: monografija. – M.: Izd-vo ASV, 2011. – S. 210-213.

3. Okusok S.A. Raschet momenta treshhinoobrazovanija zhelezobetonnoho jele-

menta bez predvaritel'nogo naprjazhenija armatury na osnovanii trebovanij SP 63.13330.2012 // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2015. – №6. – S. 14-20

4. SNiP 2.03.01-84*. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. – M.: CИTP Gossstroja SSSR, 1985. – 79 s.

5. Kljueva N.V., Gornostaev S.I. K voprosu vybora raschetnoj modeli dlja ocenki zhestkosti zhelezobetonnykh konstrukcij // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2016. – № 1 (64). – S. 71-74.

УДК 004.02

А.М. Потапенко, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: tkkaf@inbox.ru)

А.Е. Севрюков, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: alevryukov@yandex.ru)

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РЕШЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ (ТЕМАТИЧЕСКИХ) ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Проведен обзор профильных задач по секторам экономики, предполагающих использование результатов космической деятельности, с учетом специфических особенностей этих секторов.

Проанализированы особенности профильных задач следующих секторов: в секторе электроэнергетики сформирована концепция интеллектуальной активно-адаптивной сети; в секторе управления водными ресурсами определена задача анализа, моделирования и прогнозирования природных и техногенных процессов, связанных с управлением водными ресурсами, на основе отработанных интерфейсных решений и созданной информационной базы пространственных данных; в сфере транспорта определена задача оперативного управления, навигации, обеспечения безопасности на транспорте; в сфере торговли и услуг определена задача использования ГИС в диспетчерских системах эксплуатационных служб объектов.

Предложен способ консолидации информации об имеющихся в службах города децентрализованных пространственных данных на базе создания единой государственной картографической основы, заключающейся в обеспечении интеграции пространственных данных, позволяющей одновременно отображать и обрабатывать пространственные объекты из разных массивов данных любых масштабов, включая массивы тематических данных различных пользователей.

Определены варианты подходов к созданию сетевых географических сервисов в сфере муниципального управления на основе сервис-ориентированной архитектуры, предполагающей наличие трех основных составляющих: поставщиков сервисов, потребителей сервисов и реестра сервисов.

Предложен вариант формирования региональной инфраструктуры использования результатов космической деятельности, позволяющей широко применять технологии использования результатов космической деятельности в интересах решения информационно-справочных и прогнозно-аналитических задач, а также расчетных задач, задач оперативного управления, навигации, обеспечения безопасности.

Ключевые слова: *геоинформационные системы, геопортал, геоданные, слои, атрибутивная информация.*

Применение космических технологий для решения профильных задач мо-

нитинга и управления территориями и хозяйствующими субъектами региона в