

Баранов Тимофей Михайлович

Baranov Timofey M.

Иркутский государственный университет путей сообщения (ИрГУПС)

Irkutsk state transport university

Ассистент/Assistant

E-Mail: Baranov-87@yandex.ru

05.23.11 «Проектирование и строительство дорог,
аэродромов, мостов, метрополитенов и транспортных тоннелей»

Оценка безопасности мостов при геодинамических воздействиях

Bridges safety assessment at the fault creep effects

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы методологии оценки геодинамической безопасности мостовых сооружений в условиях содержания мостов с использованием систем мониторинга. Предложена оценка сооружения по категориям геодинамической безопасности при геодинамических воздействиях. Категории зависят от коэффициента геодинамической безопасности, определяемого соотношением расчетных и допускаемых показателей. Расчетные показатели в виде компонент напряжений в различных точках конструкции находятся по внешним показателям: регистрируемым системой мониторинга перемещениям опор. Допускаемые показатели находятся в виде резервов компонент напряжений до наступления предельного состояния конструкций при проектных нагрузках на мост.

The Abstract: The Issues of the methodology for bridge constructions safety assessment using of monitoring systems in bridges maintains are considered in the article. The constructions assessment according categories of geodynamic safety at the fault creep impact is offered. The categories depend on geodynamic safety index determined by ratio of estimated and permissible parameters. The components of construction's stress-strain state in any points of construction are the estimated parameters determined by external parameters – the displacements of supports registered by the monitoring system. The reserves of strain-stress state components are the permissible parameters before the construction's ultimate limit state advance with bridge design loads.

Ключевые слова: Мосты, мониторинг, геодинамическая безопасность.

Keywords: Bridges, monitoring, geodynamic safety.

Введение

Протяженные транспортные сооружения, такие как большие мосты, виадуки, городские эстакады на протяжении всего срока эксплуатации могут испытывать воздействия, не учтенные при проектировании. В условиях геологической нестабильности все более актуальным становится учет геодинамических факторов. Статическая неопределимость систем, конструктивная неоднородность предопределяет повышенную чувствительность сооружений к таким воздействиям. В связи с этим для повышения безопасности и эффективности эксплуатации мостов становится более актуальным совершенствование систем и технологий их содержания.

Независимо от видов и причин геодинамических процессов с точки зрения защиты сооружений можно выделить геодинамические и геодинамические воздействия.

Геодинамические воздействия применительно к мостовым сооружениям регистрируются при землетрясениях, при динамических импульсах активных разломов. Безопасность мостов при таких воздействиях обеспечивается расчетными технологиями, заложенными в нормах. Геодеформационные воздействия как остаточные смещения грунтовых пластов в основаниях сооружений возникают при любых видах геодинамики и не учтены строительными нормами. Наиболее скрытыми являются смещения при разломно-криповой тектонике.

1. Постановка задачи

Влияние геодеформационных процессов на сооружения ведет к возникновению дополнительных усилий, незаметному накоплению повреждений в конструкциях, снижению основных потребительских свойств сооружений: безопасности, грузоподъемности, долговечности, иногда приводящие к полному обрушению конструкций [2, 4].

Это обстоятельство формирует целесообразность выделения отдельного потребительского свойства моста в виде геодинамической безопасности, как части технической безопасности в условиях проявления активной геодинамики. Оценка геодинамической безопасности проводится в рамках системы мониторинга с использованием показателей и коэффициентов геодинамической безопасности [1].

В настоящей статье описывается методология оценки геодинамической безопасности в части геодеформационных процессов. Геодеформационные воздействия со стороны основания моста являются причиной возникновения дополнительных напряжений во всех конструктивных элементах: фундаментах, опорах, опорных частях и пролетных строениях.

2. Показатели геодинамической безопасности

Геодеформационное воздействие приводит к перемещению фундаментов опор, создавая во всех конструкциях дополнительные усилия. Оценка геодинамической безопасности при геодеформационных воздействиях представлена на рис. 1.

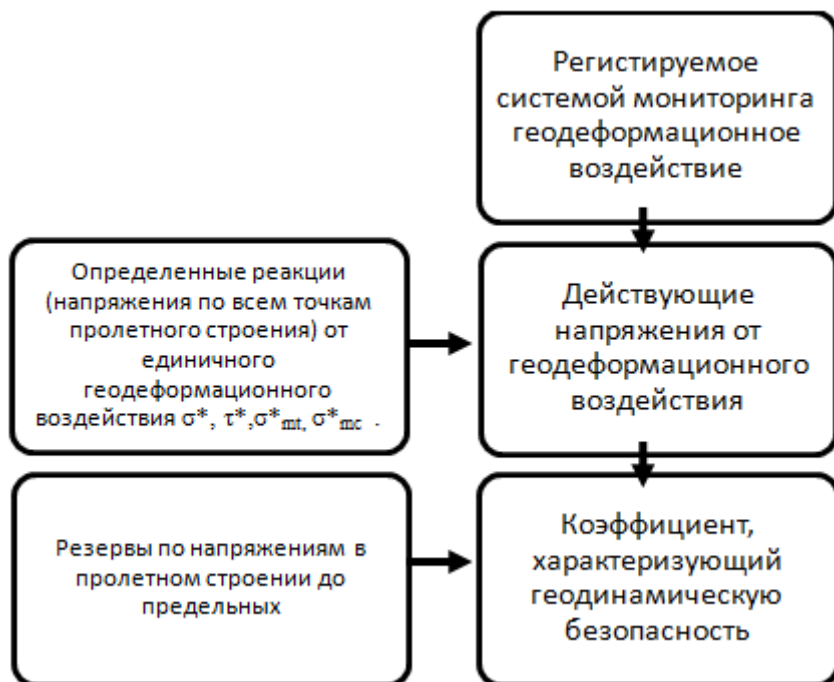


Рис. 1. Схема оценки по показателям геодинамической безопасности при геодеформационных воздействиях

Системой мониторинга фиксируются геометрические изменения положения основных конструктивных элементов моста в виде кренов, взаимных перемещений опор моста, прогибов пролетных строений. Данные об изменениях геометрического положения вносятся в базу данных системы мониторинга, где определяются действующие дополнительные напряжения от геодеформационных воздействий.

Коэффициент геодинамической безопасности $K_{ГБ}$ находится отношением допустимых и расчетных показателей. Допустимым показателем $\Pi_{дон}$ является некоторый предельный параметр, который воспринимается сооружением в рамках нормальной эксплуатационной работы. Превышение $\Pi_{дон}$ приводит конструкцию к разрушению или иной потере основных потребительских свойств.

Расчетный показатель $\Pi_{расч}$ характеризует аналогичный параметр реакции конструкций на регистрируемое при мониторинге геодеформационное воздействие.

$$K_{ГБ} = \frac{\Pi_{дон}}{\Pi_{расч}} \quad (1)$$

Геодеформационные воздействия представляют собой взаимные перемещения опор, представленные линейными и угловыми перемещениями (кренами) относительно всех трех осей. Каждый узел (точка перемещения) имеет шесть степеней свободы. Все возможные перемещения опор конструкции можно свести к виду матрицы размерностью $A(n \times 6)$, где n – количество опор моста.

$$A = \begin{bmatrix} a_{1x} & a_{2x} & \dots & a_{nx} \\ a_{1y} & a_{2y} & \dots & a_{ny} \\ a_{1z} & a_{2z} & \dots & a_{nz} \\ a_{1\varphi x} & a_{2\varphi x} & \dots & a_{n\varphi x} \\ a_{1\varphi y} & a_{2\varphi y} & \dots & a_{n\varphi y} \\ a_{1\varphi z} & a_{2\varphi z} & \dots & a_{n\varphi z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Таким образом, на каждый текущий момент времени дополнительные геодеформационные воздействия от перемещения опор описываются элементами матрицы (2).

В пролетном строении усилия и напряжения будут возникать со стороны перемещения каждой опоры независимо, а действующие усилия и напряжения будут их суммой со стороны воздействия от перемещения всех опор. Можно представить долю вклада единичного перемещения опоры в любом направлении в каждом сечении пролетного строения в виде матрицы R^* размерностью $(l \times 6)$, где l – количество сечений.

На каждое перемещение опоры или комбинации перемещений опор конструкция будет реагировать изменением напряженно-деформированного состояния. При этом изменение напряжений коснется s точек конструкции, при условии статически неопределимого характера работы пролетного строения.

Например, для нормальных напряжений, возникающих при перемещении первой опоры вдоль оси x (3), для n -ой опоры поворот вокруг оси z (4):

$$\sigma_{R1x} = \begin{pmatrix} \sigma^{R1x}_{11} & \sigma^{R1x}_{12} & \dots & \sigma^{R1x}_{1s} \\ \sigma^{R1x}_{21} & \sigma^{R1x}_{22} & \dots & \sigma^{R1x}_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma^{R1x}_{l1} & \sigma^{R1x}_{l2} & \dots & \sigma^{R1x}_{ls} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\sigma_{Rn\varphi z} = \begin{pmatrix} \sigma_{Rn\varphi z_{11}}^{Rn\varphi z} & \sigma_{Rn\varphi z_{12}}^{Rn\varphi z} & \dots & \sigma_{Rn\varphi z_{1s}}^{Rn\varphi z} \\ \sigma_{Rn\varphi z_{21}}^{Rn\varphi z} & \sigma_{Rn\varphi z_{22}}^{Rn\varphi z} & \dots & \sigma_{Rn\varphi z_{2s}}^{Rn\varphi z} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{Rn\varphi z_{l1}}^{Rn\varphi z} & \sigma_{Rn\varphi z_{l1}}^{Rn\varphi z} & \dots & \sigma_{Rn\varphi z_{ls}}^{Rn\varphi z} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Для остальных компонент напряженно-деформированного состояния, участвующих в проверках по предельным состояниям так же проводятся исследования реакций: нормальные (σ), касательные (τ_{xy}, τ_{yz}), главные (σ_{mt}, σ_{mc}).

Общая реакция пролетного строения на перемещения опор будет описываться векторами напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma^* &= [\sigma_{R1x}; \sigma_{R2x}; \dots; \sigma_{Rn\varphi z}] \\ \tau_{xy,yz}^* &= [\tau_{R1x}; \tau_{R2x}; \dots; \tau_{Rn\varphi z}] \\ \sigma_{mt,mc}^* &= [\sigma_{R1x}^{mt,mc}; \sigma_{R2x}^{mt,mc}; \dots; \sigma_{Rn\varphi z}^{mt,mc}] \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения расчетного показателя геодинамической безопасности в виде действующих напряжений в различных точках пролетного строения от матрицы воздействий A требуется перемножение соответствующих матриц единичных реакций $\sigma^*, \tau_{xy,yz}^*, \sigma_{mt,mc}^*$ (5) на A . Можно представить в виде постолбчатого умножения компонент векторов (5) на соответствующие компоненты матрицы воздействий (2).

$$\sigma = \left\{ \begin{matrix} \begin{bmatrix} \sigma_{R1x}^{R1x} \\ \sigma_{R1y}^{R1y} \\ \sigma_{R1z}^{R1z} \\ \sigma_{R1\varphi x}^{R1\varphi x} \\ \sigma_{R1\varphi y}^{R1\varphi y} \\ \sigma_{R1\varphi z}^{R1\varphi z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{1x} \\ a_{1y} \\ a_{1z} \\ a_{1\varphi x} \\ a_{1\varphi y} \\ a_{1\varphi z} \end{bmatrix} ; \begin{bmatrix} \sigma_{R2x}^{R2x} \\ \sigma_{R2y}^{R2y} \\ \sigma_{R2z}^{R2z} \\ \sigma_{R2\varphi x}^{R2\varphi x} \\ \sigma_{R2\varphi y}^{R2\varphi y} \\ \sigma_{R2\varphi z}^{R2\varphi z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{2x} \\ a_{2y} \\ a_{2z} \\ a_{2\varphi x} \\ a_{2\varphi y} \\ a_{2\varphi z} \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} \sigma_{Rnx}^{Rnx} \\ \sigma_{Rny}^{Rny} \\ \sigma_{Rnz}^{Rnz} \\ \sigma_{Rn\varphi x}^{Rn\varphi x} \\ \sigma_{Rn\varphi y}^{Rn\varphi y} \\ \sigma_{Rn\varphi z}^{Rn\varphi z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{nx} \\ a_{ny} \\ a_{nz} \\ a_{n\varphi x} \\ a_{n\varphi y} \\ a_{n\varphi z} \end{bmatrix} \end{matrix} \right\} \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = \left\{ \begin{matrix} \begin{bmatrix} \tau_{xy}^{R1x} \\ \tau_{xy}^{R1y} \\ \tau_{xy}^{R1z} \\ \tau_{xy}^{R1\varphi x} \\ \tau_{xy}^{R1\varphi y} \\ \tau_{xy}^{R1\varphi z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{1x} \\ a_{1y} \\ a_{1z} \\ a_{1\varphi x} \\ a_{1\varphi y} \\ a_{1\varphi z} \end{bmatrix} ; \begin{bmatrix} \tau_{xy}^{R2x} \\ \tau_{xy}^{R2y} \\ \tau_{xy}^{R2z} \\ \tau_{xy}^{R2\varphi x} \\ \tau_{xy}^{R2\varphi y} \\ \tau_{xy}^{R2\varphi z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{2x} \\ a_{2y} \\ a_{2z} \\ a_{2\varphi x} \\ a_{2\varphi y} \\ a_{2\varphi z} \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} \tau_{xy}^{Rnx} \\ \tau_{xy}^{Rny} \\ \tau_{xy}^{Rnz} \\ \tau_{xy}^{Rn\varphi x} \\ \tau_{xy}^{Rn\varphi y} \\ \tau_{xy}^{Rn\varphi z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{nx} \\ a_{ny} \\ a_{nz} \\ a_{n\varphi x} \\ a_{n\varphi y} \\ a_{n\varphi z} \end{bmatrix} \end{matrix} \right\} \quad (7)$$

Действующие в пролетном строении дополнительные напряжения будет являться суммой компонент реакций на перемещения каждой опоры.

Резервы конструкции, играющие роль допускаемых показателей и воспринимающие геодинамические нагрузки, определяются расчетами пролетного строения моста по теории предельных состояний на проектные нагрузки. Резерв считается исчерпанным, если дополнительные усилия со стороны перемещения опор привели к наступлению предельного состояния. При действии некоторых нагрузок возникают напряжения в различных точках

конструкции, перестающие удовлетворять требованиям проверок по предельным состояниям. При этом предельные напряжения, как правило, ограничены нормами и различными методиками расчета [5], например, для бетона железобетонных конструкций - $R_{b,mc2}$, $R_{bt,ser}$, R_b .

На пролетное строение моста действуют эксплуатационные нагрузки M_3 : постоянные M_p , временные M_v , прочие M_o . При этом создаются эксплуатационные напряжения, сводимые в массив:

$$\sigma^p = \begin{pmatrix} \sigma^p_{11} & \sigma^p_{13} & \dots & \sigma^p_{1s} \\ \sigma^p_{21} & \sigma^p_{22} & \dots & \sigma^p_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma^p_{l1} & \sigma^p_{l2} & \dots & \sigma^p_{ls} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Вычитая из предельных напряжений по соответствующей проверке напряжения от эксплуатационных нагрузок, получим некоторый остаток напряжений – резерв, который будет расходоваться на восприятие дополнительных нагрузок геодинамического характера.

Общие резервы конструкции по каждой проводимой проверке отдельно можно записать в виде матриц $Q_1 \dots Q_k$, размерностью $Q(s \times l)$, где k – число проводимых проверок; s – число точек определения напряжений в одном сечении; l – количество контролируемых сечений:

$$Q_1 = (R_{b,mc2}; R_{bt,ser}) - \begin{pmatrix} \sigma^p_{11} & \sigma^p_{13} & \dots & \sigma^p_{1s} \\ \sigma^p_{21} & \sigma^p_{22} & \dots & \sigma^p_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma^p_{l1} & \sigma^p_{l2} & \dots & \sigma^p_{ls} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1s} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{l1} & q_{l2} & \dots & q_{ls} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Проверка достаточности прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкции производится делением резервов (9) на напряжения от геодинамических нагрузок (6), (7):

$$\frac{Q_1}{\sigma} \dots \frac{Q_k}{\sigma} = \begin{bmatrix} \frac{q_{11}}{\sigma_{11}} & \frac{q_{12}}{\sigma_{121}} & \dots & \frac{q_{1s}}{\sigma_{1s}} \\ \frac{q_{21}}{\sigma_{21}} & \frac{q_{22}}{\sigma_{22}} & \dots & \frac{q_{2s}}{\sigma_{2s}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{q_{l1}}{\sigma_{l1}} & \frac{q_{l2}}{\sigma_{l2}} & \dots & \frac{q_{ls}}{\sigma_{ls}} \end{bmatrix} \geq 1 \quad (10)$$

Коэффициент геодинамической безопасности (1) можно представить в виде долей резервов к воздействиям:

$$K = \frac{Q - \sigma}{Q} \geq 0 \quad (11)$$

Таким образом, показатели геодинамической безопасности создают пространство для последующей оценки сооружений.

3. Оценка геодинамической безопасности сооружений

Полученное выражение (11) характеризует запасы по сечениям в виде коэффициентов или классов, которые при первой категории геодинамической безопасности не должны быть меньше 0. При второй и третьей категориях отношения резервов к воздействиям меньше единицы, а коэффициент K меньше 0. Следуя этому, категории геодинамической безопасности в части геодеформационных воздействий можно представить схемой на рис. 2.

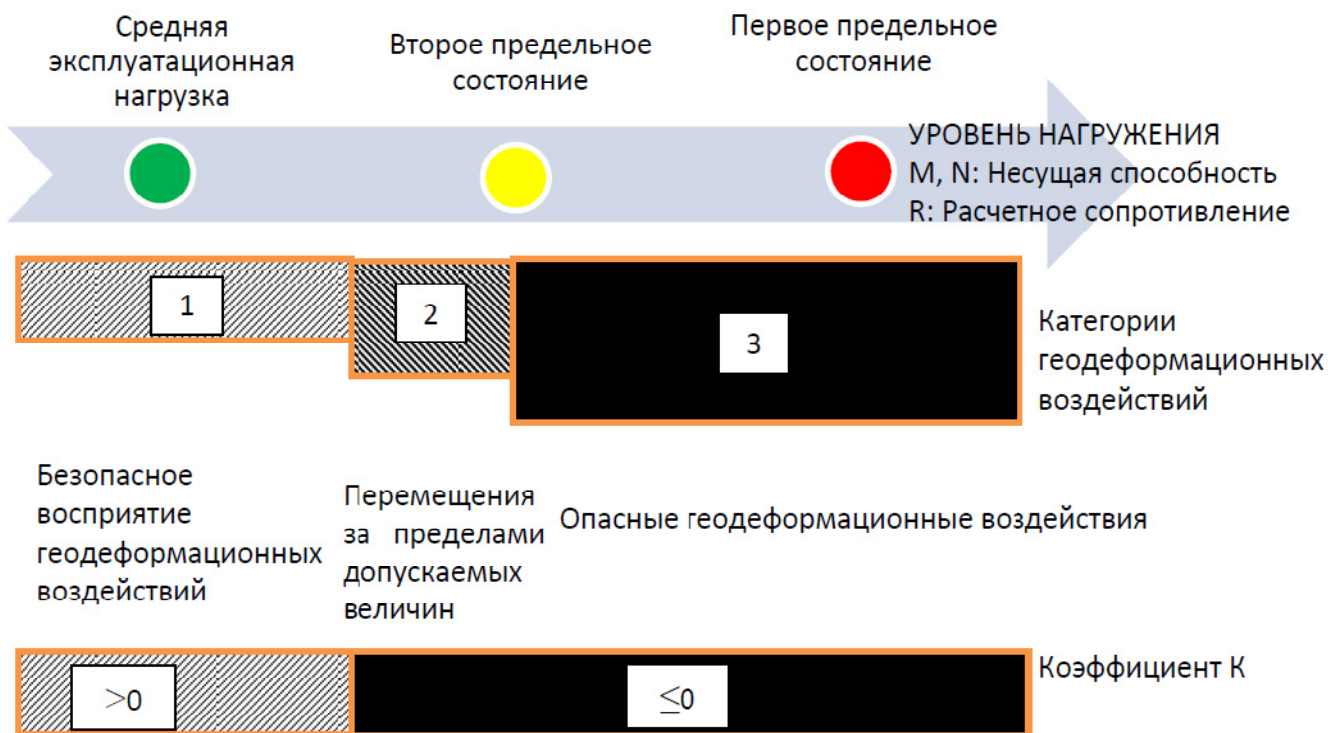


Рис. 2. Возможности конструкции по восприятию геодеформационных воздействий

Если коэффициент геодинамической безопасности $K_{гб} > 0$, геодинамическая безопасность моста обеспечивается и присваивается 1 категория.

Если коэффициент геодинамической безопасности $K_{гб} \leq 0$, но системой наблюдений не фиксируется развитие опасных повреждений, геодинамическая безопасность моста не обеспечивается и присваивается 2 категория.

Если коэффициент геодинамической безопасности $K_{гб} \leq 0$, и системой наблюдений фиксируется развитие опасных повреждений, геодинамическая безопасность моста не обеспечивается и присваивается 3 категория.

При 1 категории техническое состояние моста может считаться удовлетворительным. При 2 категории режимы пропуска транспорта не изменяются, устанавливается более тщательный контроль развития повреждений. При 3 категории мост ставится на особый режим контроля по пропуску движения транспортной нагрузки вплоть до закрытия движения.

Заключение

В статье представлена методика оценки геодинамической безопасности мостов в условиях геодеформационных воздействий с использованием систем мониторинга геодинамической безопасности.

Введено понятие показателей геодинамической безопасности при геодеформационных

воздействиях. Приведена методика определения расчетных и допускаемых показателей, а также оценки геодинамической безопасности по категориям.

Интеграция с существующей системой оценки потребительских свойств мостов и содержания сооружений может быть выполнена дополнением единой базы данных сооружений сведениями о геодинамических нагрузках и блоками математического анализа с определением допустимых, расчетных показателей, коэффициента и категорий геодинамической безопасности сооружения. Предложенная технология содержания мостов применена на Академическом мосту через реку Ангара в г. Иркутске как система мониторинга геодинамической безопасности [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов Т.М. Особенности методологии мониторинга геодинамической безопасности мостов/ Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы третьей всероссийской научно-практической конференции 15-19 мая 2012г., Иркутск: В2т. – Иркутск: Изд. ИрГУПС, 2012. – с.511-517.
2. Быкова, Н. М. Неотектонические движения земной коры и деформации дорожных сооружений / Н. М. Быкова. – Иркутск, 1998. – 136 с.
3. Быкова Н.М., Зайнагабдинов Д.А., Мишутин В.О., Баранов Т.М. Комбинированная система мониторинга геодинамической безопасности моста через реку Ангара в г.Иркутске / Транспортное строительство №7, 2011. – с.11-13.
4. Сашурин А.Д., Панжина Н.А. Влияние земных разломов на прочностные характеристики зданий и сооружений / Академический вестник УралНИИПРОЕКТ РААСН №1, 2010. - с. 69-72.
5. СП 35.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы»: М.:ЦНИИС, 2011. – 341с.

Рецензент: Директор Научно-образовательного центра современных технологий, системного анализа и моделирования ИрГУПС, д.т.н., проф. С.В. Елисеев