

**ИННОВАЦИОННЫЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Сборник трудов  
XV Международной научно-практической конференции**



Мероприятие проводится при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований,  
Проект № 18-07-20057

1 – 10 октября 2018 года  
Россия, г. Сочи

УДК 681.3 + 681.5  
И 66

И 66      Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции. / под ред. С.У.Увайсов – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, 2018, с. 652.

ISSN 2500-1248

Представлены материалы четырнадцатой международной научно-практической конференции. Сборник отражает современное состояние инноватики в образовании, науке, промышленности, социально-экономической сфере и медицине с позиций внедрения новейших информационных и коммуникационных технологий.

Представляет интерес для широкого круга специалистов в области современных информационных и коммуникационных технологий, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов, связанных с инновационной деятельностью.

**Редакционная коллегия:**

Авдеюк О.А., Васильев А.Г., Витязев В.В., Wójcik W., Голованова Н.Б., Горбунов А.П., Иванов И.А. (отв. ред.), Каперко А.Ф., Кечиев Л.Н., Климов К.Н., Кофанов Ю.Н., Кравец А.Г., Кудж С.А., Кулагин В.П., Касејко Р., Нефедов В.И., Панков В.Л., Петросянц К.О., Пожидаев Е.Д., Рагуткин А.В., Сасенко В.С., Сигов А.С., Соколов В.В., Стукач О.В., Тимошенко А.В., Халютин С.П., Харьков В.П., Черемисина Е.Н., Чернова Н.И., Шашурин Г.В., Шелупанов А.А., Шмид А.В., Увайсов С.У. (гл. ред.), Юрков Н.К.

ISSN 2500-1248

© Оргкомитет конференции ИНФО-2018

Таким образом, всем элементам сети (узлам и линиям) приписываются вероятности выхода из строя и оценивается вероятность того, что данная пара узлов окажется несвязной. Если имеется всего  $s$  ненадежных элементов в сети, то число возможных различных комбинаций из не вышедших из строя элементов равно  $2^s$ . Тогда вероятность того, что сеть останется связной можно определить следующим образом:

$$P_C = \sum_{c_k \in C} p_k, \quad (11)$$

где  $C$  — множество комбинаций из не вышедших из строя элементов, для которых сеть останется связной;  $c_k$  означает  $k$ -ю комбинацию;  $p_k$  — вероятность ее возникновения.

#### Заключение

Разработанный алгоритм позволяет проводить оптимизацию топологической структуры сети. Алгоритм заключается в выборе минимального числа ребер графа, изображающего сеть и распределении их между узлами так, чтобы обеспечить максимальную надежность при заданном диаметре.

Алгоритм достаточно эффективен с точки зрения требующихся для его реализации вычислительных мощностей, легко адаптируется к изменению функциональных зависимостей и позволяет находить оптимальные или как минимум близкие к оптимальным решения.

#### Литература

1. Вишневикий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. - 396 с.
2. Лотоцкий А.Д., Сафонова И.Е. Алгоритм поиска остовных деревьев в графе для оценки структурной надежности телекоммуникационных сетей. / Телекоммуникации. - 2016. - № 8. - с. 9-12.
3. Макаров А.С., Морозов А.М., Сафонова И.Е. Алгоритм определения оптимального числа каналов в сети передачи данных с ненадежными каналами. / Телекоммуникации. - 2013. - № 12. - с. 02-03.
4. Сафонова И.Е. Планирование развития корпоративной функционально-ориентированной сети. / Качество. Инновации. Образование. - 2008. - № 8. - с.50–55.
5. Сафонова И.Е. Методы прогностической оценки основных характеристик корпоративных функционально-ориентированных сетей. / Качество. Инновации. Образование. - 2009. - № 3. - с. 68-73.
6. Сафонова И.Е. Об одном подходе к моделированию корпоративных функционально-ориентированных компьютерных сетей. / Телекоммуникации. - 2009. - № 11. - с. 2-10.
7. Safonova I.E. On one approach to modeling enterprise-wide function-oriented computer networks. / Telecommunications and Radio Engineering. - 2012. - Т.71. - № 12. - p. 1087-1101.
8. Сафонова И.Е. Методы и модели оценки основных характеристик корпоративных функционально-ориентированных сетей в САПР: научная монография. М.: МИЭМ, 2007. -344 с.
9. Lototskiy A.D., Safonova I.E. On the estimate of the structural reliability of corporate telecommunications networks. / Information innovative technologies. - 2017. - Т.1. - p. 478-481.
10. Коротких Д.О., Лотоцкий А.Д., Сафонова И.Е., Тельнов Г.Г. Оценка надежности корпоративных телекоммуникационных сетей. / Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. - 2016. – Т.1. - с. 316-321.
11. Ирвин Дж., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход: Пер. с англ. - СПб.: БХВ Петербург, 2003. - 448 с.

#### БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ СТРУКТУРИРОВАННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Марченко И.О., Гужов В.И., Хайдуков Д.С., Серебрякова Е.Е., Давыдов А.М., Поздняков Г.А.  
Новосибирский государственный технический университет

В настоящее время фундаментальной научной проблемой в различных отраслях промышленности является обеспечение достоверных средств измерения поверхности сложных объектов. Данная проблема актуальна в авиационной промышленности, где важное место занимает контроль напряженно-деформированного состояния частей самолета. В статье описываются методы повышения точностных характеристик и расширение динамического диапазона информационно-измерительных систем для определения рельефа поверхности сложных объектов при использовании структурированного освещения.

Ключевые слова: бесконтактное измерение, структурированное освещение, пошаговый фазовый сдвиг, фазовая неоднозначность, определение профиля, фазовые методы.

Non-contact measurement of the surface relief based on the methods of structured lighting. Marchenko I.O., Guzhov V.I., Khaydukov D.S., Serebryakova E.E., Davydov A.M., Pozdnyakov G.A. Novosibirsk State Technical University

At present, the fundamental scientific problem in various industries is the provision of reliable means of measuring the surface of complex objects. This problem is relevant in the aviation industry, where the control of the stressed-deformed state of aircraft parts takes an important place. The article describes methods for increasing the accuracy characteristics and expanding the dynamic range of information and measurement systems for determining the surface relief of complex objects using structured lighting.

Keywords: non-contact measurement, structured lighting, step-by-step phase shift, phase ambiguity, profile definition, phase methods.

Фундаментальной научной проблемой является обеспечение достоверных средств измерения напряженно-деформированного состояния крупногабаритных объектов.

На ввод самолёта в серийное производство с момента начала его разработки уходит от 10 до 30 лет. Значительное время отводится на предполётные испытания. Одним из важнейших типов испытаний является контроль напряжённо-деформированного состояния частей изделия (фюзеляж, крылья, шасси и др.). Методы контроля на основе тензодатчиков остаются практически единственным способом проведения таких исследований в авиационной промышленности [1].

В настоящее время, основным средством измерений при исследовании напряженно-деформируемого состояния авиационных конструкций является информационно-измерительная система K742/1 (K732/1) имеющая следующие характеристики: погрешность измерения нагрузок не более -  $\pm 5\%$ ; погрешность измерения деформаций не более -  $\pm 2\%$ ; погрешность измерения перемещений - не более  $\pm 5\%$ .

Однако тензометрические системы обладают рядом недостатков, которые существенно снижают возможность их дальнейшей модификации:

- изменение чувствительности при изменении температуры и влажности;
- разброс значений чувствительности;
- подверженность наводкам, помехам;
- требуется очень точная установка датчиков;
- ошибки при пересчёте деформаций в напряжение;
- датчики приклеиваются клеем – возможны ползучесть, снижение сопротивления изоляции;
- при больших уровнях нагрузок возможно разрушение решётки датчика.

Но наиболее существенным недостатком является то, что тензометрические способы измерений *являются контактными*. Часто вес самих датчиков и подходящих к ним проводов вносит большую погрешность, чем диапазон измеряемых деформаций.

Поэтому понятен интерес к *бесконтактным оптическим системам* контроля. Оптические методы широко используются при исследовании напряженно-деформируемого состояния объектов и конструкций в промышленности. Однако применение систем ограничено исследованием объектов относительно небольших размеров.

В настоящее время крупными авиационными фирмами (Боинг, АйрБас, Локхид и др.) ведутся исследования для разработки измерительных оптических систем, основанных на различных принципах (проекционные, интерференционные, импульсные голографические системы). Но существующие системы не обеспечивают необходимой точности. Реальная поверхность всегда шероховата, может иметь царапины, ржавчину, следы обработки, отверстия. В результате системы, рассчитанные на погрешность 10-50 мкм, дают погрешность миллиметры [2].

Наиболее перспективным решением проблемы является использование технологии 3D-сканирующих триангуляционных оптических систем активно используемых для измерения рельефа крупномасштабных объектов. Ниже, на рис. 1 показан пример использования данной технологии для измерения геометрических параметров авиационных конструкций.

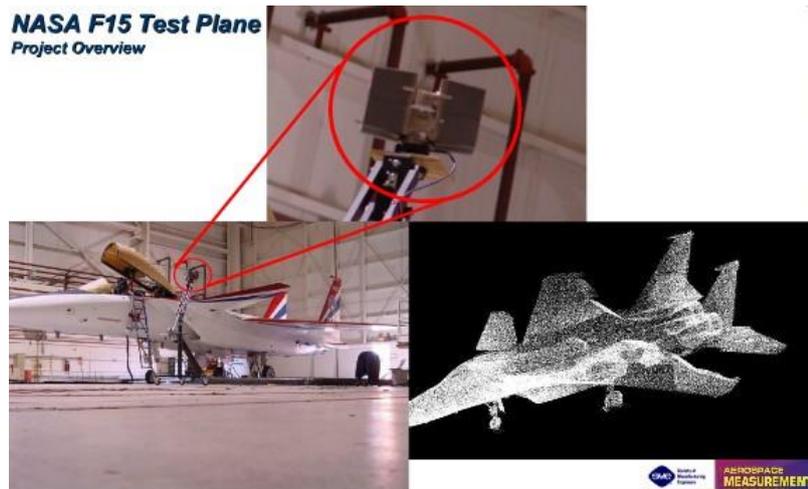


Рисунок 1 - Измерение геометрии корпуса самолета F15

На рис. 2 показан принцип триангуляционного метода измерения рельефа.

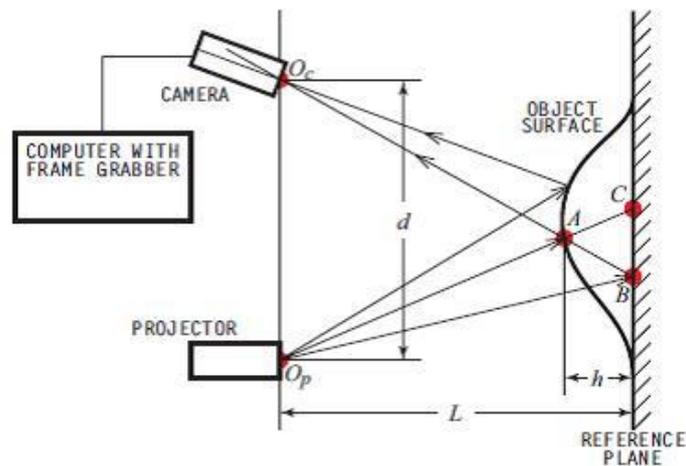


Рисунок 2 - Триангуляционный метод измерения

Высота рельефа определяется по формуле:

$$h = \frac{BC \cdot (L/d)}{1 + BC/d} \quad (1)$$

Погрешность измерения высоты рельефа в данном методе зависит от соотношения  $L/d$  и для крупномасштабных объектов, как правило, **не превышает 0,1%** от размера объекта. Для определения деформаций необходимо определение производных от изменений рельефа в процессе нагружения, поэтому подобная точность определения рельефа обеспечивает **только качественные оценки** параметров деформаций и напряжений.

Высокой точностью обладают **интерференционные и голографические методы**. Однако для формирования опорной волны и получения промежуточных голограмм необходимо дорогостоящее оборудование и параметры среды, близкие к лабораторным условиям.

Нами предложены методы, основанные на использовании комплексирования известных методов оптических измерений и новых методов формирования структурированного излучения, позволяющие устранить данные ограничения. Однако использование разработанных алгоритмов измерений сдерживается большим объемом вычислительных операций. Требуется дополнительные исследования с целью построения эффективных вычислительных схем, позволяющих существенно сократить число операций.

Известны методы **структурированного излучения**, которые предполагают проецирование синусоидальной решетки (интерференционных полос) на поверхность измеряемого объекта

$$I(x, y) = \alpha(x, y)(A + B \cos(\varphi(x, y))) \quad (2)$$

Тогда расстояние  $BC$  можно определить как

$$BC = \beta(\varphi_A - \varphi_B + 2\pi N) \quad (3)$$

где  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  - фазы интерференционных полос в точках  $A$  и  $B$  соответственно.

В этом случае можно использовать методы расшифровки, разработанные для интерференционных методов измерений. Погрешность измерений рельефа может достигать **одной сотой от размера проецируемых полос и менее**. Такая точность намного превышает известные проекционные методы.

Однако этот способ обладает двумя существенными недостатками:

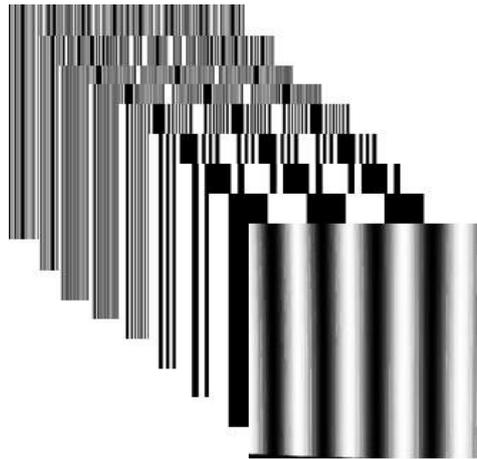
- синусоидальный профиль полос существенно искажается в процессе проецирования и ввода изображения;
  - возникает фазовая неоднозначность, вызванная повторением через период фазовых значений.
- В процессе работы предполагается разработать новые методы и способы для устранения этих существенных ограничений.

Нами предложен новый метод формирования структурированного излучения, позволяющий устранить искажения профиля полос в процессе проецирования.

Для повышения линейности профиля интерференционных полос предполагается использовать новый способ формирования структурированного излучения. Формирование многоградационного изображения синусоидальной решетки производится путем последовательной проекции изображений битовых плоскостей на поверхность объекта, их регистрации видеоприемным устройством и последующим синтезом многоградационного изображения по формуле

$$I_p = \sum_{n=0}^{N-1} 2^n \cdot I_n(x, y) \quad (4)$$

На рис. 3 показан предлагаемый принцип формирования изображения проекционной синусоидальной решетки.



Рисунке 3 - Формирование многоградационного изображения проекционной решетки

Данный принцип формирования структурированного излучения позволяет устранить влияние неравномерности отражения на линейность профиля полос и повысить разрешающую способность фотоприемного тракта за счет увеличения разрядности формируемого из битовых плоскостей изображения.

На рис. 4 показаны интерферограммы, синтезированные из битовых плоскостей для одного из периодов решетки.

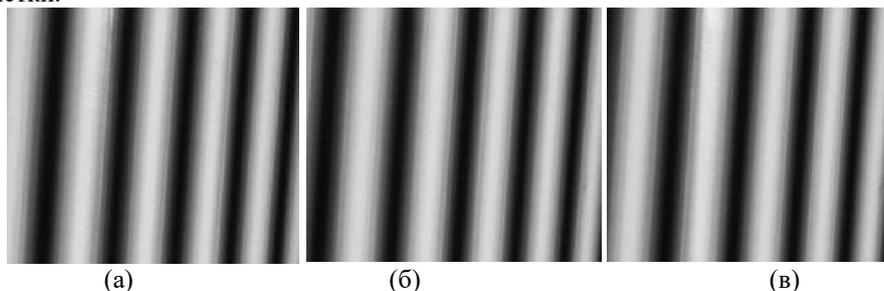


Рисунок 4 - Проекционные изображения период: а) без сдвига, б) со сдвигом решетки на период, в) со сдвигом решетки на период  $2T/3$

В качестве базового метода измерений предполагается использовать метод фазовых шагов. Разрядность квантования высококачественных цифровых устройств ввода изображений не превышает 10-12 двоичных разрядов, число разрядов формируемого изображения решетки в предлагаемом способе формирования структурированного излучения ограничивается в основном временем регистрации битовых плоскостей и может достигать 20 двоичных разрядов и более. В этом случае погрешность измерений можно снизить до 0,001 от размера полосы. Если выбрать размер полосы около 10 мм, то погрешность составит порядка десятка микрометров.

Для устранения фазовой неоднозначности предлагается использовать комплексирование триангуляционного и интерференционного методов. Предварительные измерения с помощью триангуляционных методов позволяют измерить профиль объекта с низкой точностью. Эти результаты будут дополняться результатами измерений рельефа с помощью фазовых методик.

Другим способом устранения фазовой неоднозначности является разработанный авторами в рамках проекта РФФИ 06-08-00616-а метод, основанный на целочисленных алгоритмах [3].

Впервые для решения данной проблемы Гужовым В.И. и Солодкиным Ю.Н. (1991) был предложен подход, в котором абсолютная величина фазы  $\Phi$  вычисляется непосредственно. Подход основан на китайской теореме об остатках. Сущность подхода состоит в том, что измеренные значения локальных фаз  $\varphi$  переводят в локальные разности хода  $\delta$ , которые выражают в виде целых значений с необходимым числом знаков, соответствующих необходимой точности измерения. Полные разности хода  $-\Lambda$  находят путем решения целочисленной системы сравнений:

$$\{\Lambda \equiv \delta_1 \pmod{m_1}, \Lambda \equiv \delta_2 \pmod{m_2}\} \quad (5)$$

Максимальная длина траектории  $L_{\max} = m_1 \times m_2 - 1$  определяет динамический диапазон однозначного определения  $\Lambda$ .

Для нахождения решений указанной системы сравнений авторами используется подход, основанный на применении быстрых алгоритмов.

Отметим недостатки такого подхода. Для нахождения решения требуется выполнения большого количества операций, что, учитывая значительное число точек в изображении  $10^6-10^7$  и более, приводит к неоправданно большим затратам времени при выполнении расчетов. Необходимо приводить результаты измерений к целочисленному виду, что накладывает определенные ограничения на динамический диапазон измерений. Кроме того, алгоритм неустойчив к ошибкам определения локальных фаз. Авторами предложен простой алгоритм определения полной разности фазы, не имеющий указанных недостатков. Представим решения системы сравнения в виде траектории на комплексной плоскости (рис. 5). При изменении фазы  $(\delta_1, \delta_2)$  точка будет перемещаться по диагоналям траектории.

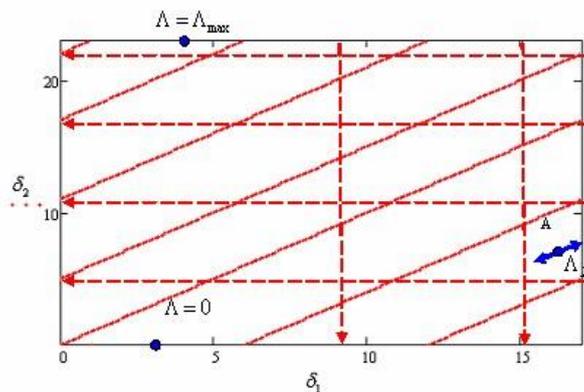


Рисунок 5 - Траектория движения точки (А) при изменении фазы

Для определения полной разности фазы  $\Lambda$  в произвольной точке изображения необходимо выполнить следующие этапы:

А) Запомним значения локальной  $\delta$  и полной разности фазы  $\Lambda$  в точках, соответствующих концам верхних и нижних диагоналей, которые рассчитываются по следующим правилам:

$$\Lambda_i = i \cdot m_1, \delta_i \equiv \Lambda_i \pmod{m_1}, i \in [0 \dots N - 1], \quad (6)$$

$$\Lambda_j = j \cdot m_2, \delta_j \equiv \Lambda_j \pmod{m_2}, j \in [0 \dots M - 1] \quad (7)$$

Здесь  $N$  - число верхних диагоналей,  $N = \text{int}(L_{\max}/m_1)$ , а  $M$  - число нижних диагоналей,  $M = \text{int}(L_{\max}/m_2)$ .

Переносим точку (А) в конец диагонали. Новые координаты точки (А) будут определяться разностью локальных фаз  $D = \delta_1 - \delta_2$ . Для верхней координаты имеем  $A = (0, |D|)$  и  $A = (D, 0)$  для нижней диагонали. Принадлежность точки нижней или верхней диагоналям определяется знаком разности  $\delta_1 - \delta_2$ . Если разность имеет положительный знак, то точка находится на нижней диагонали, если отрицательный, то на верхней диагонали.

Б) Определяем номер диагонали, которой принадлежит точка путем поиска значения разности D соответствующего локальной фазе в списке концов диагоналей, полученном на первом этапе (см. (2), (3)). В случае, когда из-за погрешности измерения локальных фаз точка не принадлежит ни одной из диагоналей, производим коррекцию положения точки, для чего выбираем диагональ, для которой значение локальной фазы наиболее близко к разности локальных фаз D. Для сокращения времени поиска можно отсортировать списки значениям локальных фаз концов диагоналей, тогда оценка номера конца диагонали может быть получена по следующим формулам:  $\hat{n}_1 = \text{int}(N\delta_1/m_1)$  - для нижних концов диагоналей и  $\hat{n}_2 = \text{int}(N\delta_2/m_2)$  - для верхних концов диагоналей. Для уточнения номера диагонали необходимо, как правило, не более одной, двух итераций.

Полная разность хода вычисляется по формуле  $\Lambda_x = \Lambda_n + \delta_1$ , если точка находится на нижней диагонали и по формуле  $\Lambda_x = \Lambda_n + \delta_2$ , если точка находится на верхней диагонали.

Для практической проверки предложенной технологии использовалась проекционная система, состоящая из проектора (1200x1024 пикселей) и фотокамеры (1600x1200 пикселей). Размер проекционного изображения составил 1x1 м<sup>2</sup>. Угол между оптическими осями проектора и камеры составил 30°. Расстояние между объектом и камерой - 3 м.

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований «Разработка методов сверхразрешения в цифровой голографической интерферометрии» (Грант № 16-08-00565) и Министерством Образования и Науки РФ (гос. задание № 8.12007.2018/11.12)

#### Литература

1. Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н., Кабанов С.И. и др. Акустико-эмиссионный контроль авиационных конструкций. / Научно-техническое издательство "Машиностроение". – 2008. – 440 с.
2. Демкин В.Н. Лазерные методы и средства измерения геометрии поверхностей сложной формы: дисс. на соискание степени. докт. техн. наук, 2004
3. Гужов В.И., Ильиных С.П., Кузнецов Р.А., Вагизов А.Р. Решение проблемы фазовой неоднозначности методом целочисленной интерферометрии / Автометрия. - 2013. - Т. 49, №2.-с. 85-91.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Манжосов А.В., Абрамова Т.В., Аралбаев Т.З.  
ФГБОУ «Оренбургский государственный университет»  
+7 (922) 813-38-18, tema2517@gmail.com

Системы транспорта нефти в экономике страны занимают одну из ключевых позиций. Вопросы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации магистральных нефтепроводов затрагивают не только систему нефтепроводного транспорта, но и многие другие отрасли, а также существенно влияют на достижение целей, сформулированных в Концепции энергетического развития страны. Обеспечение эксплуатационной надежности системы транспорта нефти в условиях их длительной эксплуатации, увеличения объемов перекачки и повышения давления становится все более актуальным.

Ключевые слова: нефтепровод; мониторинг технического состояния; резервный канал; технологическая информация; высоковольтные линии электропередач.

Organization of the information transmission system in the distributed monitoring system of an extended technological facility. Manzhosov A.V. Abramova T.V., Aralbaev T.Z., FSBEI «Orenburg State University».

The oil transport systems occupy one of the key positions in the economy of the country. The issues of ensuring reliable and safe operation of main oil pipelines concern not only the pipeline transport system, but also many other industries, and significantly affect the achievement of the goals set forth in the Energy Development