



N 1 за 2024 год

[Динамические расчеты](#)[Dynamic calculations](#)

УДК 539.3:534.1 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.2.9

Е.М. ЗВЕРЯЕВ, д.т.н. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО НИЦ «Строительство», Российский университет дружбы народов; e-mail: zveriaev@mail.ru  
СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ И ФОРМЫ КОЛЕБАНИЙ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ...2

Предлагается метод построения решения задачи о собственных колебаниях оболочек вращения, описанных по поверхностям вращения второго порядка. Исходные уравнения теории оболочек выстроены в последовательности, позволяющей вычислять неизвестные в итерационном процессе. Система из первых двух безмоментных уравнений и первых двух уравнений бесконечно малых изгибов в предложении, что могут быть построены их обратные операторы, может быть сведена к одному уравнению относительно вектора тангенциальных деформаций. Возможность такого представления обусловлена исследованиями В.З. Власова оболочек вращения, меридианы которых описаны кривыми второго порядка. Показано, что приведенные в известном справочнике по прочности, устойчивости и колебаниям результаты расчета собственных частот колебаний незакрепленных оболочек являются неправильными.

**Ключевые слова:** оболочка, безмоментные уравнения, бесконечно малые изгибы, метод последовательных приближений, собственные частоты.

UDC 539.3:534.1 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.2.9. DETERMINATION OF SHELL OF REVOLUTION VIBRATION FREQUENCIES AND MODES. E.M. Zveriaev,

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction, Peoples' Friendship University of Russia; e-mail:

zveriaev@mail.ru

**Abstract.** A method is proposed for constructing a solution to the problem of natural oscillations of shells of revolution described by surfaces of rotation of the second order. The initial equations of shell theory are arranged in a sequence that allows one to calculate the unknowns in an iterative process. The system of the first two momentless equations and the first two equations of infinitesimal bending in the proposition that their inverse operators can be constructed, can be reduced to a single equation for the vector of tangential deformations. The possibility of such a representation is due to the research of V.Z. Vlasov shells of revolution, the meridians of which are described by second-order curves. It is shown that the results of calculating the natural frequencies of vibrations of loose shells given in the well-known reference book on strength, stability and vibrations are incorrect.

**Key words:** shell, momentless equations, infinitesimal bending, method of successive approximations, natural frequencies.[Нелинейные расчеты](#)[Nonlinear calculations](#)

УДК 624.044.3 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.10.19

В.В. МИЩЕНКО АО «Ленгидропроект»; e-mail: MishchenkoVV@lhp.ru

РАСЧЕТ НЕУПРУГОГО УДЛИНЕНИЯ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ: ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
«ВЫТЯЖКИ» ПРОВОДОВ...10

В действующей нормативной литературе существуют «серые зоны», когда за требованием учета при проектировании известного и подтвержденного практикой явления отсутствует действенная расчетная методика. «Вытяжка» проводов воздушных линий электропередачи – одна из таких зон. В статье сделана попытка обосновать данное явление на основании простых и известных еще в 30-х годах прошлого века фактах, которые оказались отброшены во второй половине XX века в пользу теоретического метода расчета, не получившего должного экспериментального обоснования.

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередачи, механический расчет провода, остаточная деформация.

UDC 624.044.3 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.10.19. CALCULATION OF INELASTIC EXTENSION OF OVERHEAD POWER LINES WIRES: THEORETICAL

JUSTIFICATION OF THE «EXTRACTION» OF WIRES. V.V. Mishchenko, JSC «Lengidroproekt»; e-mail: MishchenkoVV@lhp.ru.

**Abstract.** In the current regulatory literature, there are «gray zones» when there is no effective calculation methodology behind the requirement to take into account a well-known and proven phenomenon in the design. The «extraction» of overhead power lines wires is one of such zones. The article attempts to substantiate this phenomenon on the basis of simple facts known back in the 30s of the last century, which were discarded in the second half of the XX century in favor of a theoretical calculation method that did not receive proper experimental justification.

**Key words:** overhead power line, mechanical wire calculation, residual deformation.[Расчеты на прочность](#)[Strength calculations](#)

УДК 624.072.2 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.20.31

Д.В. КОНДРАШОВ ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»; e-mail: dkondras@mail.ru

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПЛЕКСА «ЯМАЛ СПГ»...20

В статье приведены результаты научно-технического сопровождения строительства комплекса по добыче, подготовке, сжижению газа, отгрузке его и его конденсата, расположенного на Южно-Тамбейском месторождении. В ходе работы выполнены: визуальное-инструментальное освидетельствование стальных конструкций технологических модулей и сопутствующих инженерных сооружений; изучение и анализ проектной документации; проверочные расчеты каркасов. Эти работы были проведены с целью оценить напряженно-деформированное и техническое состояние стальных строительных конструкций комплекса и дать рекомендации для дальнейшего развития строительства и безопасной эксплуатации сооружений на месторождении.

**Ключевые слова:** техническое состояние, освидетельствование, несущие конструкции, каркасы, модули, нагрузки, общая устойчивость, напряжение, прочность, перемещения, прогрессирующее обрушение.

UDC 624.072.2 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.20.31. ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF STEEL STRUCTURES OF THE YAMAL LNG

COMPLEX. D.V. Kondrashov, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko JSC Research Center of Construction; e-mail: dkondras@mail.ru.

**Abstract.** The article presents the results of scientific and technical support for the construction of a complex for the extraction, preparation, liquefaction of gas, shipment of it and its condensate, located at the Yuzhno-Tambeyskoye field. During the work, the following were performed: visual and instrumental inspection of steel structures of technological modules and related engineering structures; study and analysis of project documentation; verification calculations of frames. These works were carried out in order to assess the stress-strain and technical condition of the steel building structures of the complex and make recommendations for further development of construction and safe operation of structures at the field.

**Key words:** technical condition, examination, bearing structures, frames, modules, loads, general stability, tension, strength, displacement, progressive collapse.

УДК 69.04 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.32.38

Е.А. ЛАРИОНОВ<sup>2</sup>, д.т.н., проф., А.С. МАРКОВИЧ<sup>1,2</sup>, к.т.н., доцент, Е.А. ГРИНЬКО<sup>2</sup> <sup>1</sup>НИУ МГСУ, <sup>2</sup>РУДН; e-mail: evgenylarionov39@yandex.ru

РЕЛАКСАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ...32

В физическом аспекте явление релаксации представляется процессом установления термодинамического равновесия в системе, состоящей из большого числа частиц. С точки зрения физической химии это явление возникает вследствие переориентации внутримолекулярной структуры и межмолекулярных перемещений, проявляя сходность с явлением ползучести. В строительной механике релаксация понимается как снижение напряжения при фиксированной деформации. Расчет длительной безопасности железобетонных конструкций связан с динамикой их напряженного состояния и приводит к задачам релаксации для учета перераспределения напряжений с бетона на арматуру. В работе для их решения предлагается подход, основанный на концепции прочностной структуры конструктивных материалов.

**Ключевые слова:** релаксация, ползучесть, напряжение, деформация.UDC 69.04 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.32.38. STRESS RELAXATION IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURE ELEMENTS. E.A. Larionov<sup>2</sup>, A.S. Markovich<sup>1,2</sup>, E.A.Grinko<sup>2</sup>, <sup>1</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, <sup>2</sup>Academy of Engineering of RUDN University; e-mail: evgenylarionov39@yandex.ru.

**Abstract.** In the physical aspect, the relaxation phenomenon is represented by the process of establishing thermodynamic equilibrium in a system consisting of a large number of particles. From the point of view of physical chemistry, this phenomenon arises due to the reorientation of the intramolecular structure and intermolecular movements, showing similarities with the phenomenon of creep. In structural mechanics, relaxation is understood as a reduction in stress at a fixed deformation. The calculation of the long-term safety of reinforced concrete structures is related to the dynamics of their stress state and leads to relaxation problem to account the redistribution of stresses from concrete to reinforcement. In this paper, an approach based on the concept of the strength structure of structural materials is proposed to solve them.

**Key words:** relaxation, creep, stress, deformation.

УДК 624.13 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.39.44

С.В. БОСАКОВ<sup>1,2</sup>, д.т.н., профессор, П.Д. СКАЧОК<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, <sup>2</sup>Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь; E-mail: sevibo@yahoo.com

### КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ НАКЛАДКИ, СЦЕПЛЕННОЙ С УПРУГОЙ ЧЕТВЕРТЬПЛОСКОСТЬЮ...39

В работе рассматривается задача о контакте накладкой, прикрепленной к упругой четвертьплоскости, под действием горизонтальной силы. Определяются нормальные и касательные напряжения между накладкой и четвертьплоскостью. Задача решается способом Б.Н. Жемочкина при разбиении области контакта на двадцать участков. Получены результаты для изменения продольной силы в накладке. Показано, что наличие ребра четвертьплоскости вносит возмущения в картину распределения нормальных и касательных напряжений по сравнению с аналогичными результатами для полуплоскости. Отдельно приведены результаты для жесткой накладки. Сделан вывод о необходимости учета изгибающих моментов при расчетах накладок.

**Ключевые слова:** четвертьплоскость, накладка, контактные напряжения, продольная сила, изгибающий момент.

UDC 624.13 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.39.44. **CONTACT PROBLEM FOR A PAD COUPLED TO AN ELASTIC QUARTER-PLANE.** S.V. Bosakov<sup>1,2</sup>, P.D. Skachok<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Belarusian National Technical University (Minsk), <sup>2</sup>Belarusian-Russian University, The Republic of Belarus; e-mail: sevibo@yahoo.com

**Abstract.** The paper considers the problem of contact between a pad attached to an elastic quarter-plane under the action of a horizontal force. The normal and shear stresses between the overlay and the quarter plane are determined. The problem is solved by B.N. Zhemochkin's method by dividing the contact area into twenty sections. Results were obtained for changing the longitudinal force in the pad. It is shown that the presence of a quarter-plane edge introduces disturbances into the distribution of normal and tangential stresses in comparison with similar results for a half-plane. The results for the rigid overlay are shown separately. It is concluded that it is necessary to take into account bending moments when calculating linings.

**Key words:** quarter plane, overlay, contact stresses, longitudinal force, bending moment.

УДК 692.2 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.45.50

Н.С. НОВОЖИЛОВА<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Н.М. РУДАКОВ<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, <sup>2</sup>ООО «ПНИ «Парус»; e-mail: nsn01@list.ru

### ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УСИЛЕННОЙ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ МОНОЛИТНЫМ ЖЕЛЕЗОБЕТОНОМ ПРИ МЕСТНОМ КРАЕВОМ СЖАТИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ КЛАДКИ И БЕТОНА...45

В данной статье анализируется напряженное состояние кирпичной кладки, усиленной монолитным железобетоном, при краевом приложении местной сжимающей нагрузки на торец конструкции. Рассматривается влияние различных материалов кирпичной кладки и классов бетона обоямы на несущую способность конструкции с использованием ПК ANSYS. В результате выявлены коэффициенты использования несущей способности кладки при определении несущей способности усиленной конструкции.

**Ключевые слова:** усиление кирпичных стен, железобетонная обойма, моделирование, местное краевое сжатие, напряженное состояние.

UDC 692.2 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.45.50. **FEATURES OF STRESS STATE OF REINFORCED BRICK MASONRY WITH MONOLITIC REINFORCED CONCRETE WITH LOCAL EDGE COMPRESSION AT DIFFERENT STRENGTH CHARACTERISTICS OF MASONRY AND CONCRETE.** N.S. Novozhilova<sup>1</sup>, N.M. Rudakov<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Saint-Petersburg state university of architecture and civil engineering, <sup>2</sup>LLC "DSI "Parus"; e-mail: nsn01@list.ru

**Abstract.** This article analyzes the stress state of brickwork reinforced with monolithic reinforced concrete when a local compressive load is applied at the edge to the end of the structure. The influence of various brickwork materials and classes of concrete frame on the load-bearing capacity of the structure is considered using the ANSYS software. As a result, the coefficients for using the load-bearing capacity of masonry when determining the load-bearing capacity of a reinforced structure were identified.

**Key words:** reinforcement of brick walls, reinforced concrete cage, modeling, local edge compression, stress state.

УДК 624.137.6+624.137.5+624.154.9 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.51.62

А.И. ХАРИЧКИН<sup>1,2</sup>, к.т.н., Н.А. АФАНАСЬЕВ<sup>1,2</sup>, И.М. ГАЛИМОВ<sup>1,2</sup>, к.т.н. <sup>1</sup>НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ Строительство» <sup>2</sup>НИУ МГСУ; e-mail: nik.afanasev.01101998@gmail.com

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ. УЧЕТ ТОРЦЕВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ УШИРЕНИЯ ГРУНТОВОГО АНКЕРА ПРИ РАСЧЕТЕ ЕГО НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПО ГРУНТУ...51

В настоящее время в геотехническом строительстве распространено использование грунтовых анкеров. При проектировании анкерных систем встает вопрос расчета несущей способности грунтового анкера по грунту. На сегодняшний день действующие нормативные документы не имеют четкой методики расчета несущей способности грунтового анкера. В свою очередь, существующие расчетные методики определения несущей способности анкера по грунту (представленные в СП 381.1325800, ВСН 506-88, ТСН-50-302-2004 и др.) не учитывают ряд геометрических параметров и технологических факторов и дают существенно заниженные значения по сравнению с результатами полевых испытаний. Также расчет несущей способности сводится к определению сопротивления анкера выдергиванию только по боковой поверхности цилиндрического тела, не учитывая лобового сопротивления уширения корневой части. В данной статье поднимается вопрос достоверного определения расчетной несущей способности грунтового анкера по грунту с учетом всех геометрических и технологических факторов, а также рассматривается напряженно-деформированное состояние окружающего грунтового массива и механика его разрушения.

**Ключевые слова:** несущая способность, грунтовый анкер, нагель, противопожарная защита, свая, микросвая, трубчатая винтовая штанга (ТВШ), подпорные сооружения, подпорная стена, проектирование, напряженно-деформированное состояние (НДС), система «сооружение – грунтовый массив».

UDC 624.137.6+624.137.5+624.154.9 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.51.62. **GROUND ANCHORS DESIGN. DETERMINATION OF THE ULTIMATE LOAD-HOLDING (BEARING) CAPACITY INCLUDING AN END-BEARING COMPONENT.** A.I. Kharichkin<sup>1,2</sup>, N.A. Afanasev<sup>1,2</sup>, I.M. Galimov<sup>1,2</sup>, INIOSP named after N.M. Gersavanov JSC Research Center of Construction, <sup>2</sup>Moscow State University of Civil Engineering (National Research University); e-mail: nik.afanasev.01101998@gmail.com.

**Abstract.** Currently, ground grouted anchor systems are widespread in geotechnical construction. One of the stages of anchor system designs is ultimate load-holding (bearing) capacity calculation. To date, a clear methodology for calculation the bearing capacity of a ground anchor is not presented by the current regulatory documents. On the other hand, the existing calculation methods for determining the bearing capacity of the anchor (which are presented in SP 381.1325800, VSN 506-88, TSN-50-302-2004 and others) do not take into account all geometric parameters and technological factors. Therefore, the results of determination bearing capacity are significantly lower than the actual ones. Also, the calculation of the bearing capacity is reduced to determination the lateral surface resistance of the anchor's cylindrical body only. An end-bearing resistance component of the fixed anchor is not taken into account by calculation. This article raises the issue of reliable determination of the ground grouted anchor's calculated bearing capacity, taking into account all geometric and technological factors, and also considers the stress-strain state of soil and the destruction mechanics.

**Key words:** ultimate load holding capacity, ground anchor, nagel, landslide protection, pile, micro-pile, selfdrilling hollow steel bar, retaining structures, retaining wall, design, stress-strain state, soil-structure system.

[В помощь проектировщику](#)

[To help the designer](#)

УДК 624.072.2.014 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.63.69

А.С. МАРУТЯН, к.т.н., доцент Пятигорский институт Северо-Кавказского федерального университета; e-mail: al\_marut@mail.ru

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛУПЛОСКООВАЛЬНЫХ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ...63

Приведено новое техническое решение полуплоскоооальных гнутосварных профилей, оптимизированное по прочностной характеристике при изгибе, оригинальность которого подтверждена патентной экспертизой. Основой их формообразования послужили прямоугольные профили с отношением размеров ширины и высоты 1/3 по средней линии сечения, что обеспечивает максимальную прочность. В качестве прототипа приняты полуплоскоооальные профили, скопированные на базе плоскоооальных с максимальной прочностью за счет отношения размеров ширины и высоты 1/3,064 по средней линии сечения.

Представлен расчет оптимальных параметров тонкостенных сечений по приближенной методике с использованием их средних линий, неоднократно апробированной при решении оптимизационных задач для гнутосварных профилей различных форм и очертаний. При сравнительном анализе расчетных параметров выявлен положительный эффект от оптимизированных профилей в ферменных и балочных конструкциях, включающий уменьшение расхода конструкционного материала, снижение концентрации напряжений, сокращение строительной высоты. Обозначена перспективность расширения области их рационального применения с добавлением в нее трубобетонных и сталежелезобетонных конструкций.

**Ключевые слова:** профильные трубы, гнутосварные профили, оптимизация, расчет оптимальных параметров, решетчатые конструкции, фермы, балки, трубобетонные каркасы.

UDC 624.072.2.014 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.63.69. **OPTIMIZATION OF SEMI-FLAT-OVAL BENT-WELDED PROFILES FOR BEAM STRUCTURES.** A.S. Marutyanyan, North-Caucasus federal university; e-mail: al\_marut@mail.ru

**Abstract.** A new technical solution for semi-flat bent-welded profiles is presented, optimized for bending strength characteristics, the originality of which has been confirmed by patent examination. Rectangular profiles with a ratio of width and height 1/3 along the middle section line served as the basis for their shaping, which ensures maximum strength. As a prototype, semi-flat profiles are assembled on the basis of flat-oval profiles with maximum strength due to the ratio of width and height 1/3.064 along the middle section line. The calculation of the optimal parameters of thin-walled sections using an approximate technique using their average lines, repeatedly tested in solving optimization problems for bent-welded profiles of various shapes and outlines, is presented. A comparative analysis of the design parameters revealed a positive effect of optimized profiles in truss and girder structures, including a reduction in the consumption of structural material, a decrease in stress concentration, and a reduction in building height. The prospects of expanding the scope of their rational use with the addition of pipe-concrete and steel-reinforced concrete structures are indicated.

**Key words:** profile pipes, bent-welded profiles, optimization, calculation of optimal parameters, lattice structures, trusses, beams, pipe-concrete frames.

УДК 624.014.9 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.70.77

Д.А. РОМАНЧЕНКО Рязанский институт (филиал ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»); e-mail: 89060627113a@gmail.com  
ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ПОЛИМЕРНЫХ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК ГИПЕРБОЛОИДОВ ВРАЩЕНИЯ...70

Статья посвящена изучению деформаций в узловых соединениях сетчатых оболочек гиперboloидов вращения, исследованию опыта эксплуатации объектов в виде гиперboloидов вращения (на примере башни В.Г. Шухова на Шаболовке в городе Москве), выполненных из полимерных элементов. В рамках лабораторных исследований было проведено моделирование сетчатого гиперboloида вращения из полимерных материалов, изучены деформации такого типа конструкций при нагрузках. Лабораторные исследования проведены с целью изучения физических нагрузок на полимерные элементы, в зависимости от яруса гиперboloида, количества полимерных элементов сетчатой оболочки в диаметре яруса, изучения деформации материала, конструкции гиперboloида в целом. Данные лабораторного эксперимента дают представление о физических особенностях конструкций в виде гиперboloида вращения, представление о возможных изменениях нагрузок в узловых соединениях ярусов башни, в данных типах конструкций, выполненных из полимерных материалов. В статье приведены сформированные результаты исследований по изучению деформаций и изменению нагрузок на узловые крепления в зависимости от яруса конструкции и количества формирующих ярус элементов. Данная статья имеет научную актуальность, дает представление об изменении нагрузки, деформации, сопротивлении элементов конструкции и иных процессах.

**Ключевые слова:** сетчатые оболочки, гиперboloид вращения, соединения, вертикальные смещения, башни, Шухов, деформация, полимеры.

UDC 624.014.9 DOI 10.37538/0039-2383.2024.1.70.77. **STUDY OF DEFORMATIONS IN NODAL JOINTS OF POLYMER MESH SHELLS OF HYPERBOLOIDS OF**

**ROTATION.** D.A. Romanchenko, Ryazan Institute (branch of the Federal State Educational Institution of Moscow Polytechnic University); e-mail: 89060627113a@gmail.com.

**Abstract.** The article is devoted to the study of deformations and vertical displacements in the nodal joints of the mesh shells of hyperboloids of rotation, the study of the experience of operating objects in the form of hyperboloids of rotation (using the example of the V.G. Shukhov tower on Shabolovka in Moscow) made of polymer structures. As part of laboratory research, modeling of a mesh hyperboloid of rotation made of polymer materials was carried out, deformations of this type of structures under loads were studied. Laboratory studies were conducted in order to study physical loads on polymer elements, depending on the hyperboloid tier, the number of polymer elements of the mesh shell in the diameter of the tier, the study of material deformation, the construction of the hyperboloid as a whole. The data of the laboratory experiment give an idea of the physical features of structures in the form of a hyperboloid of rotation, an idea of possible load changes in the nodal joints of the tower tiers, in these types of structures made of polymer materials. The article presents the formed results of research on the study of deformations and changes in loads on nodal fasteners depending on the tier of the structure and the number of elements forming the tier. This article has scientific relevance, gives an idea of the change in load, deformation, resistance of structural elements and other processes.

**Key words:** mesh shells, hyperboloid of rotation, joints, vertical displacements, towers, Shukhov, deformation, polymers.