

торов в количестве до 1 мас.% приводит к увеличению деформационно-прочностных характеристик ПНК по сравнению с исходным СВМПЭ.

В результате исследований выявлена «организационная», структурообразующая функция наноразмерных неорганических оксидов в полимерных материалах. Управляя процессами структурообразования, можно направленно изменять свойства полимерных композитов.

Замена штатных уплотнений и подшипников скольжения на разработанные материалы позволит повысить ресурс современных оборудований и снизить затраты на эксплуатацию и ремонт.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по Государственному заданию № 11.512.2014/К от 18.07.14.

Литература

1. Kirillina Iu. V., Nikiforov L. A., Okhlopkova A. A. *et al.* Nanocomposites Based on Polytetrafluoroethylene and Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene: A Brief Review // Bull. Korean Chem. Soc. – 2014. – V. 35, № 12. – P. 3411 – 3420.
2. Sciancalepore C., Bondioli F., Messori M. *et al.* Epoxy nanocomposites functionalized with in situ generated magnetite nanocrystals: microstructure, magnetic properties, interaction among magnetic particles // Polymer. – 2015.
3. Liu Hongtao, Ji Hongmin, Wang Xuemei. Tribological properties of ultra-high molecular weight polyethylene at ultra-low temperature // Cryogenics 58. – 2013. – P. 1 – 3.
4. Краснов А.П., Наумкин А.В., Юдин А.С. и др. Природа первичных актов фрикционного взаимодействия СВМПЭ с поверхностью стали // Трение и износ. – 2013. – №2. – С. 154 – 164.
5. Рыжонков Д.И. Наноматериалы: учебное пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 365 с.
6. Ayman A. Aly, El-Shafei B. Zeidan, Allah A. Alshennawy *et al.* Friction and Wear of Polymer Composites Filled by Nano-Particles: A Review // World Journal of Nano Science and Engineering. – 2012, 2. – P. 32–39.
7. Peacock A. Handbook of Polyethylene: Structures: Properties, and Applications CRC Press. – 2000. – 544 p.
8. Vasile C., Pascu M. Practical Guide to Polyethylene Shawbury: SmithersRapra Press. – 2008. – 188 p.
9. Okhlopkova A.A., Sleptsova S. A., Alexandrov G. N. *et al.* Nanoceramic and Polytetrafluoroethylene Polymer Composites for Mechanical Seal Application at Low Temperature // Bull. Korean Chem. Soc. – 2013. – V. 34, № 5. – P. 1345 – 1348.
10. Лунатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. – М.: Химия, 1977. – 304 с.
11. Соголова Т.И. Термомеханическое исследование // Энциклопедия полимеров. – М.: Сов.энциклопедия, 1977. – Т. 3. – С. 619 – 623.

Поступила в редакцию 27.02.2015

УДК 691.11:620.179.16

Составление карт распределения плотности в поперечных и продольных сечениях ствола дерева

М.Ф. Лавров

Инженерно-технический институт Северо-Восточного федерального университета, г. Якутск

Проблема улучшения эксплуатационных свойств конструкций из древесины, а также композиционных материалов и клееных изделий на ее основе особенно актуальна для строительства в северных районах. Опыт строительства в Якутии показывает достаточную надежность и долговечность конструкций из древесины лиственницы, несмотря на то, что их применение сопряжено с технологическими сложностями. Например, доски из лиственницы при технологическом процессе сушки коробятся, появляются трещины, а также возрастает жесткость древесины. Перечисленные недостатки вызваны особенностями строения древесного материала, а степень интенсивности их проявления пропорциональна величине показателя плотности древесины. Представлены методы и результаты исследования качественных показателей древесины, полученные в лабораторных и полевых условиях, а также разработанные автором способы графического отображения распределения плотности в поперечных и продольных сечениях ствола дерева по результатам замеров методом ориентированного сверления. Предложенные способы построения графиков распределения плотности позволяют оценивать показатели плотности в круглых сортаментах заготовок, что можно использовать их в качестве теоретической основы созда-

ЛАВРОВ Михаил Фрументьевич – ст. преподаватель, yakutia@lenta.ru.

ния специального программного обеспечения для приборов, работающих по принципу ориентированного сверления. Разработанная методика оценки качественных показателей лесных ресурсов способствует расширению границ использования древесных материалов, снижению их себестоимости, а также повышению качества строительных деревянных конструкций и сооружений.

Ключевые слова: плотность древесины, качественные показатели, лиственница даурская, метод ориентированного сверления, карта распределения плотности.

The problem of improvement of operational properties of wood frame structures, structural wood-base composites and glued wood building parts, is especially actual for construction in northern areas. Experience of building in Yakutia shows sufficient reliability and durability of structures from larch wood in spite of the fact that processing of the wood is technologically quite difficult. For example, larch planks at technological process of drying are jarred on, cracks appear, and also wood rigidity increases. The listed shortcomings are caused by features of a structure of the wood material, and the degree of intensity of their manifestation is proportional to the wood density. The results of a study of quality indicators of wood received in laboratory and field conditions are discussed. A new method of graphic display of distribution of density in cross and longitudinal sections of a tree trunk based on measurements by microdrilling are developed. The method allows to estimate density indicators in round assortments of wood and then use them as a theoretical basis for creation of special software for devices working on the principle of focused drilling. The developed technique of assessment of quality indicators of forest resources will contribute the diversity of use of wood materials, reduction of production cost, and improvement of quality in wood construction.

Key words: wood density, quality of wood, larch, microdrilling, map of density distribution.

Введение

Комплексные исследования ведущих ученых по проблемам древесиноведения позволили установить, что по мере продвижения с запада на восток влажность древесины лиственницы уменьшается, а прочностные свойства возрастают. В то же время плотность древесины в абсолютно сухом состоянии в зависимости от района произрастания существенно не различается [1–6]. Таким образом, условия произрастания древесных пород оказывают определенное влияние на физико-механические свойства древесины.

Во всех случаях отмечено, что в абсолютно сухом состоянии плотность древесины в комлевой части обладает наибольшими показателями и значительно снижается к середине высоты ствола. В некоторых случаях можно наблюдать небольшое повышение плотности древесины в районе кроны [1,7]. Характер распределения показателей плотности древесины в различных участках ствола деревьев объясняется неравномерным отложением годовичных слоев и различным соотношением ранней и поздней древесины. Наибольшая плотность древесины в абсолютно сухом состоянии отмечается в комлевой части ствола, которая обусловлена еще и тем, что эта часть ствола, выполняя функцию опоры дерева, несет большую механическую нагрузку. Повышение плотности этих участков ствола связано с увеличением толщины стенок клеток и большим содержанием смол и других экстрактивных веществ [7–10].

По мнению О. И. Полубояринова [7], в отличие от других качественных характеристик, плотность древесины наиболее тесно коррели-

рует с ее физико-механическими показателями, и на ее основе можно рассчитать содержание сухого вещества в древесном сырье и определить, в частности, весовую продуктивность древостоев. В пределах каждого дерева любой породы древесины плотность весьма неоднозначна по своей величине и зоне ствола (рис. 1) [1,7]. Это, безусловно, создает серьезные, а в ряде случаев и непреодолимые трудности в подборе древесины с однородными свойствами для ответственных изделий и конструкций.

На основе приведенных данных с достаточным основанием можно заключить, что плотность является важнейшей качественной характеристикой древесного сырья, и этот показатель необходимо учитывать при использовании древесины как сырьевого продукта для различных видов продукции промышленного назначения.

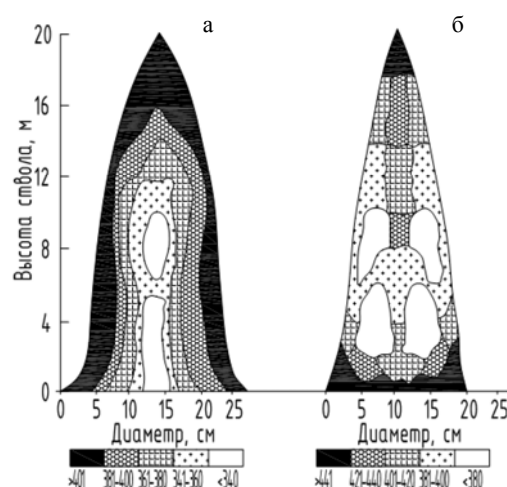


Рис. 1. Денситограмма ствола ели (а) и осины (б)

Поэтому детализированная оценка и регламентирование допустимых диапазонов распределения плотности на участках ствола дерева могут стать одним из главных критериев в выборе сырья для производства конструкционных пиломатериалов.

Таким образом, плотность древесины имеет преимущества перед такими показателями макростроения древесины, как ширина годичного слоя, процент поздней древесины, и может применяться как определяющий фактор качества древесины. Во многих научных работах [1,10,11] по древесиноведению подчеркивается, что для выявления качественного, однородного по строению древесного сырья и прогнозирования уровня стабильности физико-механических показателей конкретных изделий наиболее весомыми показателями качества древесины являются макростроение (структурные неоднородности), плотность и размерные характеристики.

Возрастающие требования к рациональному использованию древесины предполагают проведение высокоточной и обширной диагностики строения, состояния и качества древесины, что позволяет получение достоверных данных о состоянии древесины, ее анатомическом строении и основных физико-механических показателях. В связи с актуальностью проблемы оперативного диагностирования качества древесины целью данной работы является повышение его эффективности определением плотности и параметров макростроения древесины методом ориентированного сверления.

Материалы и методы исследования

Для исследования качественных показателей древесины лиственницы даурской были отобраны модельные деревья в количестве 9 шт., а также один экспериментальный ствол с явно выраженными пороками строения (наклоном волокон, кривизной, сбежистостью и т.д.). Отбор модельных деревьев осуществлялся по ГОСТ 16483.6–80 в лимнасово-брусничном лесу на 25-м километре федеральной автомобильной дороги «Вилуй». Согласно ГОСТ 16483.6–80, модельные деревья исследуемой породы выбраны из числа деревьев, величина диаметров которых удовлетворяет требованиям, предъявляемым к лесоматериалам в зависимости от их назначения.

Исследование качественных показателей древесины лиственницы даурской с использованием метода ориентированного сверления проводилось по следующей программе [12,13]:

- установление последовательности проведения испытаний и анализа данных по оценке качества древесины, характерных зон замера;

- определение внутренней структуры древесины с разметкой границ ранней и поздней древесины;

- приведение измеряемых значений res_i к истинным значениям показателей;

- установление связи базисной плотности древесины с условными единицами res_i .

Для анализа и интерпретации полученных экспериментальных данных существует множество разновидностей диаграмм и графиков, используемых в качестве средства визуализации числовой информации, в том числе: точечные, линейные, плоскостные, объемные. Источником числовых данных для диаграмм являются таблицы результатов из экспериментальной части исследований. Правила построения диаграмм предусматривают отображение числовых значений по вертикальной оси, а категорий – по горизонтальной. Отображения результатов экспериментальных данных распределения базисной плотности по диаметру и высоте ствола, а также их сечению выбраны следующие виды диаграмм:

- точечные – для построения числовых данных по результатам замеров методом ориентированного сверления;

- поверхностные – для прогнозирования и визуализации распределения плотности в поперечном и продольном сечении ствола дерева.

Пошаговый алгоритм построения графика распределения базисной плотности следующий:

1. Вывод в ПО «Decom» резистограммы, определение координат точек по осям для основных зон замера: входные, выходные точки холостого хода сверлильного суппорта; входные и выходные точки зоны замера древесины.

2. Выявление систематических ошибок замера данных в условных единицах res_i , приведение к истинным значениям показателей res_i .

3. Перевод массива данных замера из условных единиц в единицы базисной плотности, используя уравнение связи.

4. Вычисление средних значений плотности на участках в 1 см.

5. Построение графиков распределения плотности древесины по направлению сверления (север-юг, запад-восток).

Представленный на рис. 2 график является достаточно информативным источником для характеристики распределения плотности по диаметру ствола. Анализ графика позволяет:

- установить местоположение наиболее плотной древесины и вариации значений плотности по диаметру ствола;

- выявить в стволе дерева зоны с равномерным распределением плотности и с разрушенной или низкоплотной древесиной;

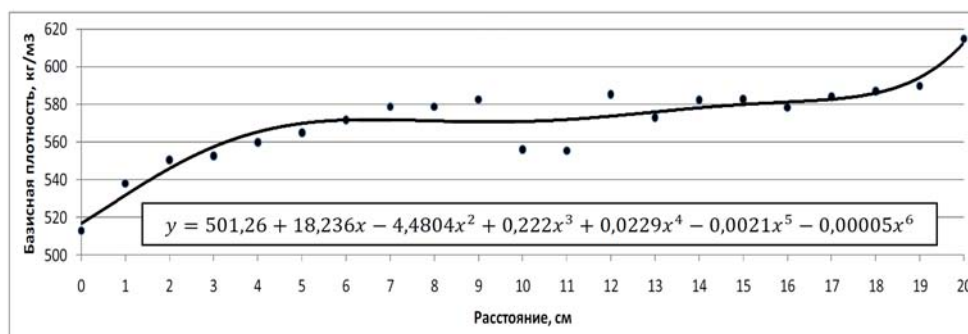


Рис. 2. Построение графика распределения базисной плотности

– определить среднюю плотность по диаметру ствола.

При взаимно-перпендикулярном совмещении графиков распределения базисной плотности (в направлении север-юг и запад-восток) по диаметру ствола относительно ориентации пути сверления можно получить поверхностные диаграммы распределения базисной плотности в программе MS Excel.

Для составления поверхностной диаграммы приняты следующие допущения:

поперечное сечение ствола имеет форму круга;
центр окружности совпадает с осью поперечного сечения ствола;

характер изменения плотности годовичного кольца по окружности ствола является равномерным.

На рис. 3 представлена таблица, моделирующая форму сечения ствола с разделением участков в 1 см. Указаны направления света, которые идентифицируют направления просверливания.

В табл. 1 показаны идентификационные номера, где в ячейках главных осей (N_i , E_i) запи-

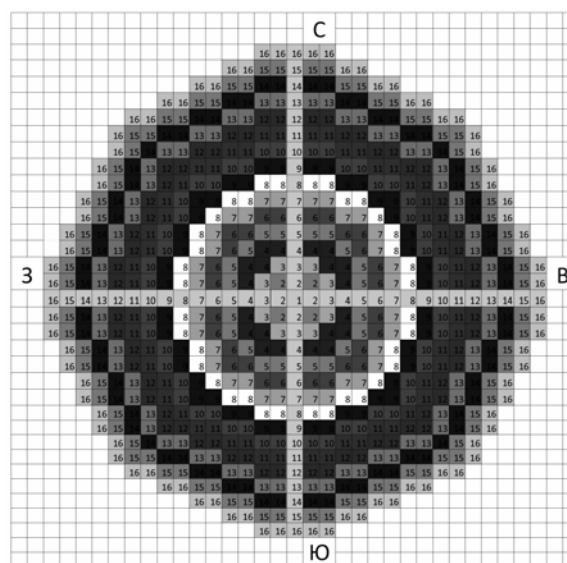


Рис. 3. Данные распределения плотности в поперечном сечении ствола

Таблица 1

Форма табличного заполнения данных

N16	NE16-20	NE16-19															
N15	NE15-19	NE15-18	NE16-18	NE16-17													
N14	NE14-17	NE14-16	NE15-17	NE15-16	NE16-16	NE16-15											
N13	NE13-16	NE13-15	NE14-15	NE14-14	NE15-15	NE15-14	NE16-14	NE16-13									
N12	NE12-15	NE12-14	NE13-14	NE13-13	NE14-13	NE14-12	NE15-13	NE15-12	NE16-12	NE16-11							
N11	NE11-13	NE11-12	NE12-13	NE12-12	NE13-12	NE13-11	NE14-11	NE14-10	NE15-11	NE15-10	NE16-10						
N10	NE10-12	NE10-11	NE11-11	NE11-10	NE12-11	NE12-10	NE13-10	NE13-9	NE14-9	NE15-9	NE16-9						
N9	NE9-11	NE9-10	NE10-10	NE10-9	NE11-9	NE11-8	NE12-9	NE12-8	NE13-8	NE14-8	NE15-8	NE16-8					
N8	NE8-9	NE8-8	NE9-9	NE9-8	NE10-8	NE10-7	NE11-7	NE12-7	NE13-7	NE14-7	NE15-7	NE16-7					
N7	NE7-8	NE7-7	NE8-7	NE8-6	NE9-7	NE9-6	NE10-6	NE11-6	NE12-6	NE13-6	NE14-6	NE15-6	NE16-6				
N6	NE6-7	NE6-6	NE7-6	NE7-5	NE8-5	NE9-5	NE10-5	NE11-5	NE12-5	NE13-5	NE14-5	NE15-5	NE16-5				
N5	NE5-5	NE5-4	NE6-5	NE6-4	NE7-4	NE8-4	NE9-4	NE10-4	NE11-4	NE12-4	NE13-4	NE14-4	NE15-4	NE16-4			
N4	NE4-5	NE3-4	NE5-3	NE6-3	NE7-3	NE8-3	NE9-3	NE10-3	NE11-3	NE12-3	NE13-3	NE14-3	NE15-3	NE16-3			
N3	NE3-2	NE3-3	NE4-2	NE5-2	NE6-2	NE7-2	NE8-2	NE9-2	NE10-2	NE11-2	NE12-2	NE13-2	NE14-2	NE15-2	NE16-2		
N2	NE2-1	NE3-1	NE4-1	NE5-1	NE6-1	NE7-1	NE8-1	NE9-1	NE10-1	NE11-1	NE12-1	NE13-1	NE14-1	NE15-1	NE16-1		
C	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16		

$$NE_{ik} = E_i - \frac{k}{n+1}(E_i - N_i),$$

Пример расчета данных в ячейке NE12-9:

$$NE_{12-9} = 588 - 9/16 * (588 - 689) = 632, \text{ кг/м}^3.$$

Результаты и обсуждение

Из рис. 4 видно, что графики имеют общие тенденции распределения плотности по сечению ствола. Для повышения точности представления графиков распределения плотности требуются дополнительные точки просверливаний в промежуточных направлениях:

с северо-запада на юго-восток;
с северо-востока на юго-запад.

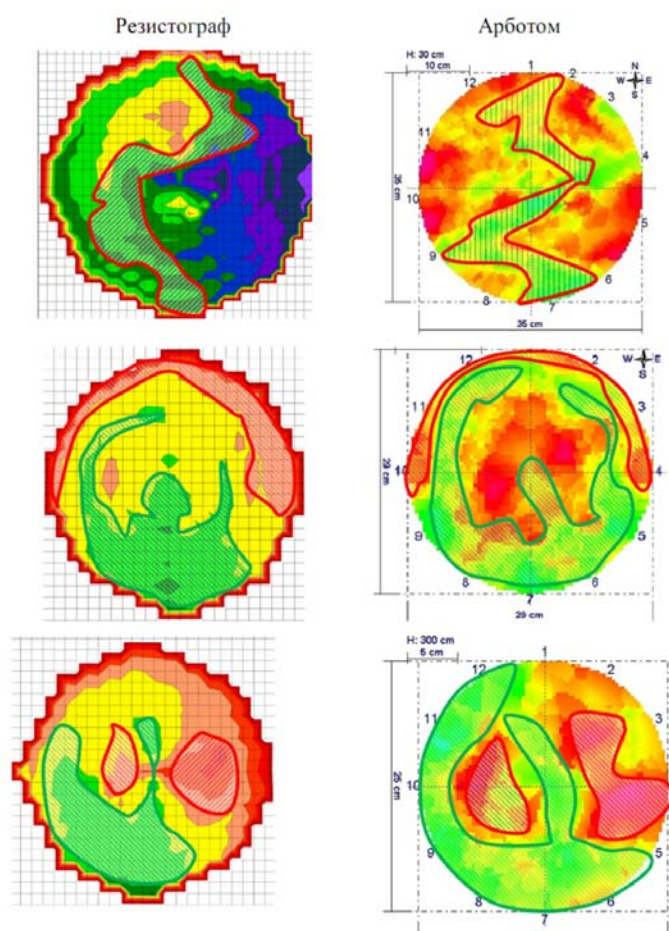


Рис. 4. Сравнение распределения плотности в поперечном сечении

Плоскостные графики расчетных данных плотности по высоте ствола представлены в виде табличной формы в программе MS Excel (табл. 2). Данные столбцов связаны с изменением плотности по диаметру ствола, строк – с высотой взятия замеров.

Применив функцию вставки плоскостного графика в программе MS Excel, можно получить

Таблица 2

Заполнение данных распределения плотности в MS Excel

[illegible]

денситограммы ствола дерева по высоте (рис. 5).

Наглядность представленной денситограммы ствола древесины зависит от количества замеров по высоте ствола (шага делений).

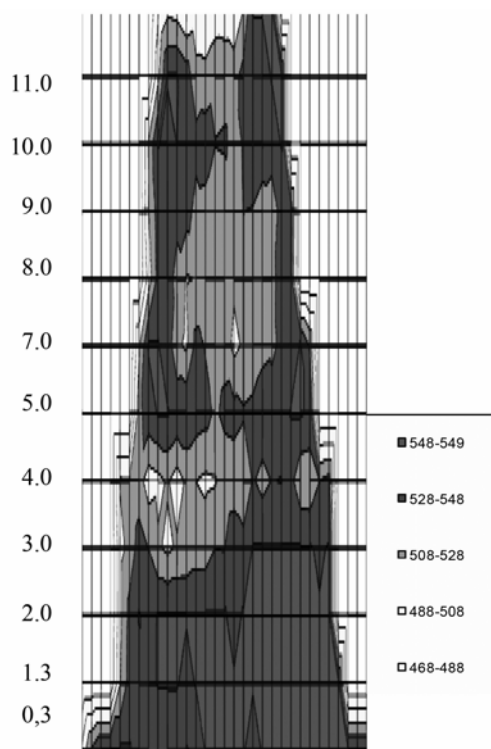


Рис. 5. Пример составленной денситограммы ствола древесины в MS Excel

Заключение

Разработанная методика составления карт распределения плотности в поперечных и продольных сечениях ствола дерева позволит внедрить метод ориентированного сверления в повсеместную практику, как при оценке качественных показателей древесины в лесных массивах, так и элементов деревянных конструкций на эксплуатируемых объектах.

С помощью метода ориентированного сверления можно исследовать макроструктуру древесины и биосостояние ствола дерева, практически не нарушая его целостности, а также определять плотность и механические свойства древесины. Определение указанных характеристик лиственницы даурской представляется достаточно согласованным с научными принципами исследования древесины и описания ее свойств. Соотношения между параметрами макростроения древесины, ее плотности и прочности могут быть установлены на основе идентификации характеристик процесса внедрения сверла-индентора в древесину и величины ее

сопротивления продвижению инструмента по образуемому каналу. Поэтому разработка математической модели процесса сверления и создание специальных карт распределения плотности по сечению и высоте ствола дерева могут обеспечить достоверное и обоснованное прогнозирование технических показателей и качества самой древесины.

Литература

1. Алексеев И.А., Полубояринов О.И. Лесное товароведение с основами древесиноведения: учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 457 с.
2. Бокщанин Ю.Р. Пути расширения переработки и потребления лиственницы. – Свердловск: изд. Сверд. НТО бумлесдрев, 1962. – 98 с.
3. Исаева Л.Н. Физико-механические свойства древесины основных пород Сибири. – Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. – 310 с.
4. Вихров В.Е., Лобасенок А.К. Технические свойства древесины в связи с типами леса. – Минск: Изд-во Министерства высшего, среднего специального и профессионального образования, 1963. – 72 с.
5. Жуков А.Б. Технические свойства древесины сосны из лесов Украины. – Харьков, 1931. – 80 с.
6. Львов П.Н., Климов Р.Н. О качестве древесины ели и лиственницы Крайнего Северо-Востока Коми АССР // ИВУЗ. «Лесной журнал». – 1971. – № 4. – С. 124–125.
7. Полубояринов О. И. Плотность древесины. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 160 с.
8. Вихров В.Е. Строение и физико-механические свойства ранней и поздней древесины сибирской лиственницы // Тр. Ин-та леса АН СССР. – 1949. – Т. 4. – С. 174–194.
9. Санаев В.Г. Физико-механические свойства элементов макроструктуры древесины // Строение, свойства и качество древесины. – Москва–Мытищи, 1990. – С. 171–176.
10. Вихров В. Е. Изменение крепости древесины в зависимости от процента поздней части годичного слоя и влажности // Тр. Арханг. лесотехн. ин-та. – Архангельск, 1949 – Т. 13. – С. 175–178.
11. Волынский В.Н. Плотность и модуль упругости как критерии прочности чистой древесины // ИВУЗ. «Лесной журнал». – 1983. – № 4. – С. 76–80.
12. Лавров М.Ф., Левинский Ю.Б., Чахов Д.К. и др. Распределение плотности по высоте и сечению ствола древесины лиственницы даурской // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 8. – С. 41–42.
13. Лавров М.Ф., Чахов Д.К., Докторов И.А. Определение качественных показателей древесины методом сверления // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2014. – № 5. – С. 196–201.
14. Лавров М.Ф., Семенова С.А. Определение акустических показателей древесины лиственницы // «ЭРЭЛ-2012»: материалы Всероссийской конференции научной молодежи. – Т. 1. – Якутск, 2012. – С. 92–95.

15. Левинский Ю.Б., Лавров М.Ф., Семенова С.А. Новый методологический подход к исследованию распределения плотности по сечению и высоте ствола в древесине (на примере древесины лиственницы даурской, произрастающей в Якутии) [Электронный ресурс]

// VIII Междунар. Евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI в.», 2013 г. http://symposium.forest.ru/article/2013/2_tehnology/pdf/Levinskyi2.pdf (дата обращения: 19.02.2015).

Поступила в редакцию 21.05. 2015

УДК 624.073.113

Повышение грузоподъемности железобетонного автодорожного моста федеральной автодороги «Колыма» с применением базальтокомпозитной арматуры

О.С. Едисеев, М.В. Смолина

Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск

Актуальность исследования повышения грузоподъемности эксплуатируемых железобетонных плитных пролетных строений автодорожных мостов в условиях Республики Саха (Якутия) обоснована повышением интенсивности движения и объема грузооборота по федеральной автомобильной дороге «Колыма», а также увеличением нормативной нагрузки на мостовые сооружения. Результаты обследований железобетонных мостов на федеральной автомобильной дороге «Колыма» показали, что наиболее часто встречающимися дефектами и повреждениями являются раковины, сколы на поверхности бетона, выщелачивание цементного камня, разрушение защитного слоя и, как следствие, коррозия арматуры. Металлическая арматура в составе железобетонных изделий и конструкций является ответственным звеном, в то же время уязвимым местом, поскольку под воздействием влаги и щелочной среды бетона арматура корродирует, что приводит к снижению эксплуатационных характеристик, в том числе несущей способности. В данной статье предложена конструкция плитного пролетного строения, армированная базальтокомпозитными стержнями, взамен железобетонных плит с арматурой АIII. На примере эксплуатируемого автодорожного моста через р. Малиновка на км 552+482 автомобильной дороги «Колыма» со сниженной грузоподъемностью сделан сравнительный анализ несущей способности плит с базальтокомпозитной арматурой, производимой на заводе базальтовых материалов в Республике Саха (Якутия), и металлической арматурой АIII, который показал, что по прочности по нормальным и наклонным сечениям несущая способность по изгибающему моменту в сечении плиты, армированной базальтокомпозитной арматурой диаметром 20 мм в количестве 6 штук, больше на 10%, чем несущая способность плиты, армированной металлическими стержнями арматуры АIII диаметром 20 мм в количестве 10 штук; при этом по наклонному сечению значительной разницы перерезывающих сил нет.

Ключевые слова: автодорожный мост, плитное пролетное строение, базальтокомпозитная арматура, первая группа предельных состояний.

Growing traffic and goods turnover on the Kolyma federal highway cause the increase of regulatory burden on the bridge structures. Study of a problem of rising of loading capacity of reinforced concrete superstructures of highway bridges in conditions of the Republic of Sakha (Yakutia) is carried out. Test results of investigation of concrete bridges on the federal highway «Kolyma» showed that the most common defects and damage are shells, chipped concrete surface, leaching of cement paste, destruction of the protective layer and, as a consequence, corrosion of the reinforcement. Metal armature in concrete products and structures is a responsible link and at the same time is a weak spot, since because the moisture and alkaline conditions of concrete cause the reinforcement corrosion, that leads to a decrease in performance, including loading capacity. This paper pro-

ЕДИСЕЕВ Олег Сергеевич – студент 5-го курса автодорожного факультета, olegedisseev@yandex.ru; СМОЛИНА Милена Васильевна – ст. преподаватель, milena_smolina@ya.ru.