



СТРУКТУРНО-МОДИФИЦИРОВАННАЯ ДРЕВЕСИНА

STRUCTURALLY-MODIFIED WOOD

В.Кухарев* / vk58@yandex.ru

V.Kukharev*

В настоящее время во всем мире наблюдается повышенный интерес к традиционным, экологически чистым материалам, к числу которых относится древесина. Объясняется это не только экологичностью последней, как природного материала, но и тем, что современные технологии позволяют значительно улучшить ее эксплуатационные свойства. Древесина становится более технологичным материалом и, следовательно, область ее применения, а значит, и спрос, значительно расширяются.

Traditional, environmentally friendly materials, including wood, currently attract more and more interest worldwide. This is due to not only environmental friendliness of wood as a natural material, but due to the fact that modern technologies allow to significantly improve its properties. The wood becomes technologically advanced material and, hence, its application area, as well as the demand for it, are greatly enhanced.

Древесина – превосходный строительный и конструкционный материал, который, однако, имеет определенные недостатки: низкую био-, водо- и термостойкость, горючность, подверженность растрескиванию и короблению при воздействии влаги и температуры. При применении специальных технологий на производстве и при правильной эксплуатации деревянные изделия и постройки служат человеку сто и более лет. Уместно напомнить, что все химические способы борьбы с гниением и горючестью носят относительно кратковременный характер и, по данным испытаний, отрицательно влияют на механическую прочность древесины.

Резонный интерес деревообрабатчиков, мебельщиков и строителей к улучшению эксплуатационных и технологических свойств древесины привел к появлению kleеных деревянных материалов и конструкций, плитных материалов типа ДСП, ЛВЛ, ОСП, ДВП, МДФ и изделий из модифицированной древесины (ТМД, дестам, лигнамон, кебони, аккойя). В производстве таких композиционных древесных материалов применяются различного рода связующие, клеи и химические активаторы свойств природного древесного вещества. При этом повышение требований к экологической, экономической и эксплуатационной эффективности как новых древесных материалов, так и соответствующих им производственных тех-

нологий 21 века приводит к пониманию того, что природная древесина сама по себе является сложным композитом, потребительские свойства которого можно целенаправленно изменять (модифицировать), применяя последние достижения науки и техники.

НАТУРАЛЬНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

Постоянно возобновляемое натуральное древесное вещество по своей микроструктуре – великолепный композиционный материал, подобный современным бетонным панелям: арматурные прочные волокна, состоящие из свитых определенным образом микрофибрилл целлюлозы с размерами от 2 до 50 нм, упакованы и ориентированы в лигно-углеводном растворе из лигнина и гемицеллюлоз с размерами от 20 до 80 нм по сечению. При этом гемицеллюлозы можно считать промежуточным межслойным связующим между целлюлозными волокнами и лигнинным основным раствором. Для древесины различных пород исходная лигно-углеводная матрица древесного вещества имеет кристаллическое строго определенное строение на макроструктурном уровне.

Следует отметить, что фрагментарно химический состав природного лигнина и гемицеллюлоз близок (хотя и более сложен) химическому составу связующих, применяемых при производстве древесных материалов, поэтому некото-

* Компания "Стройлаб" / * Stroylab company

рые компоненты современных смол получают из натуральной древесины, используя дорогостоящие химические технологии. Предприятиям лигнин достается по цене пиломатериала как бы "в нагрузку", так как он часто негативно влияет на дальнейшую переработку в изделия. Поэтому большой практический интерес представляет использование природных компонентов древесного вещества, целенаправленно активируя нужные структурные составляющие биокомпозитной матрицы и доставляя на микроуровне в древесное вещество необходимые реакционноспособные добавки и активаторы. Это позволяет получить новый модифицированный древесный композит с заранее заданными свойствами, без изменения текстурной целостности древесины, ее положительных свойств, и с признаком ей новых, востребованных потребителем эксплуатационных или дизайнерских свойств. При кажущейся сложности такого подхода реально применяемые производственные технологические процессы на специально разработанном оборудовании с автоматизированной системой управления будут понятны подготовленному специалисту и позволят деревообрабатывающему предприятию выйти на новый уровень доходности, применять принципиально новые технологии обработки древесины, создавать новые сектора рынка.

ПОЛУЧЕНИЕ СТРУКТУРНО-МОДИФИЦИРОВАННОГО ДРЕВЕСНОГО ВЕЩЕСТВА

Для того чтобы превратить лигноуглеводную матрицу из "нагрузки" в "бонус" для



Образец модифицированной древесины
Sample of modified wood

современного деревоперерабатывающего предприятия, специалистами ООО "Стройлаб", созданного Ульяновскимnanoцентром ULNANOOTECH в 2012 году, разрабатываются технологические процессы, новое оборудование и материалы, соответствующие критериям технологий 21 века. Основываясь на современных знаниях о микроструктурном строении природной древесины, специалисты лаборатории разрабатывают технологии и оборудование для изготовления изделий из структурно-модифицированного древесного вещества

Wood is an excellent building and construction material, which, however, has certain disadvantages: low bio, water and temperature resistance, flammability, susceptibility to cracking and warping when exposed to moisture and temperature. With the use of special technologies in production and with proper maintenance the service life of wood products and buildings reaches hundred or more years. It will be recalled that all chemical ways to prevent rotting and flammability

are of relatively short duration and, according to the tests, adversely affect the mechanical strength of wood. The mechanical strength of wood.

Reasonable interest of woodworkers, furniture makers and builders to improve performance and technological properties of wood led to the development of laminated wood materials and structures, plate materials, such as chipboard, LVL, OSB, fibreboard, MDF and products from modified wood (TMW, Destam,

Lignamony, Kebony, Accoya). In the production of such composite wood materials are used various kinds of binders, adhesives and chemical properties of natural activators of wood substance. Different kinds of binders, adhesives and chemical activators of properties of natural wood are used in the production of such composite wood materials. Thus, the increasing requirements to environmental, economic and operational efficiency of new wood-based materials and production



Лавка из модифицированной древесины и высокопрочного бетона

Bench of modified wood and high-strength concrete

(СМДВ), полученного как в массиве (пиломатериалы), так и в виде отходов производства (опилки, стружка, кора, целлюлозосодержащие отходы промышленных предприятий). Основное направление деятельности – адаптация и внедрение не имеющих аналогов технологий и материалов в промышленное производство с учетом современных требований к продукции.

Предлагаемая технология изготовления продукции из СМДВ предусматривает пропитку исходного сырья раствором модификатора с

целью улучшения свойств биополимерной матрицы древесины на микроуровне и пьезотермообработку полуфабриката с получением изделия с нужными потребителю свойствами. В качестве базового модификатора древесного вещества используется активированный водный раствор карбамида, образующий в ходе технологического процесса энергетически активный канал клатрата. Диаметр канала кратата в узкой части составляет 0,49 нм, в широкой – около 0,6 нм, поэтому комплекс с карбамидом могут образовывать любые вещества, молекулы которых имеют диаметр поперечного сечения меньше диаметра кратрата. Это позволяет технологу подобрать для модификации древесины необходимые целевые добавки: вещества, которые, взаимодействуя со структурными компонентами биополимерной матрицы, придают древесине заданные свойства. Поскольку карбамид является синергистом, то есть соединением, умножающим полезное воздействие добавок, их массовое количество незначительно.

Особенность технологии СМДВ в том, что базовый раствор модификатора полностью совместим с естественной биополимерной матрицей древесного вещества, а его способность доставлять на микроуровне специально подобранные добавки позволяет синтезировать наноразмерные узлы направленного модифицирования древесного вещества без нарушения его природной макротекстуры. Экологичность СМДВ и безопасность технологического процесса гарантированы тем,

technologies of the XXI century lead to an understanding that the natural wood itself is a complex composite, consumer properties of which can be targeted modified with use of the latest achievements of science and technology.

NATURAL COMPOSITE MATERIAL

The constantly renewable natural wood substance by its microstructure is an excellent composite material similar to modern concrete panels: the reinforcement durable fibres consisting of cellulose microfibrils, which are twisted in a certain way with the size ranging from 2 to 50

nanometers, are packed and oriented in the lignin-carbohydrate solution of lignin and hemicellulose with the size from 20 to 80 nanometers over the cross section. This hemicellulose can be considered an intermediate binder interlayer between the cellulose fibres and basic lignin solution. For various wood species the parent lignin-carbohydrate matrix of wood material has a well-defined crystal structure at the macrostructural level.

It should be noted that the fragmentary chemical composition of the natural lignin and hemicellulose is close (although more

complex) to the chemical composition of binders used in the production of wood-based materials, for that reason, some components of modern resins are obtained from natural wood by using expensive chemical technologies. Companies are offered lignin at the price of lumber kind of "as a load", as it often negatively affects any further manufacturing products. Therefore, of a great practical interest is the use of natural components of wood material by intentionally activating the desired structural components of the biocomposite matrix and supplying at the micro level the



что карбамид является не только естественным удобрением для растений, но еще и пищевой добавкой (по международной классификации – Е927б). Применяемые в минимальных количествах целевые добавки органично входят в состав древесного вещества и дают возможность адаптировать технологический процесс к любым породам древесины в любом ее состоянии, хотя предпочтительна свежесрубленная древесина.

Следует отметить, что ориентация сетки наноразмерных узлов модификации определяется микроструктурой биополимерной матрицы древесины, поэтому режимы пьезотермической обработки должны настраиваться с учетом применяемых целевых добавок, а также размеров и породы обрабатываемого сырья.

Одним из направлений опытно-конструкторских разработок является создание промышленного оборудования, которое позволяет не только варировать технологические параметры модификации в зависимости от применяемого сырья, но и средствами автоматизированных систем управления и цифровых технологий проводить активную диагностику и коррекцию технологического процесса. Учитывается и то, что в условиях современного дефицита пиломатериалов, дорожевизны перевозок, а также снижения себестоимости готовой продукции оборудование СМДВ должно быть не только крупнотоннажным, как, например, для производства ДСП, но и мобильным, доступным по цене для среднего предпринимателя.

needed reactive additives and activators to the wood substance. This allows obtaining a new modified wood composite with pre-determined properties without changing the textural integrity of the wood, its positive properties but giving it new operational or design properties expected by consumers. Despite the seeming complexity of this approach, the real production processes used on the specially designed equipment with an automated control system will be understood by trained professionals, and they enable a wood-processing company to get to a new level of profitability, apply

fundamentally new wood processing technologies and creating new market sectors.

STRUCTURALLY-MODIFIED WOOD SUBSTANCE

In order for the modern timber processing enterprises to turn a lignin-carbohydrate matrix from a "load" into a "bonus", experts of the Stroylab company established by the Ulyanovsk nanocentre ULNANOtech in 2012, develop processes, new equipment and materials that meet the criteria of the XXI century technologies. Based on the current knowledge of the microstructure structure

ПРОИЗВОДСТВО ПОГОНАЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В сотрудничестве с ведущими российскими производителями оборудования для модификации и импрегнации древесины, а также для изготовления ДСП специалисты лаборатории участвуют в нескольких инновационных проектах по выпуску изделий из СМДВ. В частности, в компании Dream Wood (Ульяновск) предполагается ежемесячно выпускать до 250 м³ массивной половой и террасной доски, строительной доски и бруса из СМДВ. Планируется, что эксплуатационные свойства и исходная порода для модификации будут согласовываться с заказчиком. В табл.1 приведены проектные эксплуатационные показатели для комплекта террасного покрытия Dream Wood, в табл.2 – сравнительные свойства СМДВ для строительных погонажных изделий.

ЭКОЛОГИЧНЫЙ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Вторым реализуемым инновационным проектом является производство на основе СМДВ экологичного древесно-стружечного материала – ЭДСМ. Предлагаемая технология использования натуральных компонентов древесного вещества позволяет исключить из традиционного техпроцесса производства ДСП токсичные смолы и отходы, утилизировать которые разрешается только на специальных полигонах, снизить энергозатраты, перерабатывать так называемые "старые", пролежавшие несколько лет в отвалах отходы деревообрабатывающих производств. Промышленное внедрение технологии ЭДСМ позволит сократить

of natural wood, laboratory assistants are developing technologies and equipment for the manufacture of structurally-modified wood substance (SMWS) obtained in an array (sawn wood) and in the form of production waste (sawdust, chips, bark, cellulose-containing waste of industrial enterprises). The main area of activity is the adaptation and implementation of unique technology and materials in industrial production to meet modern product requirements.

The proposed SMWS product manufacturing technology provides for impregnation of the feedstock with the modifier solution



Таблица 1. Характеристики комплекта террасного покрытия производства компании Dream Wood

Table 1. Properties of wood decking kit produced by Dream Wood company

	Доска Board	Лага Common joist	Планка Lath
Морозостойкость, °С Frost resistance		–50	
Потеря прочности при 200 циклах замораживания-оттаивания, % Strength loss at 200 cycles of freezing/thawing		≤ 20	
Жаростойкость, °С Heat resistance		+70	
Плотность в объеме изделия, кг/м ³ Bulk density, kg/m ³	800	700	1100
Прочность при изгибе, Мпа Flexural strength, MPa		123	
Истираемость, г/см ² Abradability, g/cm ²		0,1	
Водопоглощение, % Water absorption, %		1,3	
Максимальная нагрузка на поверхность, кг/м ² Maximum load on the surface, kg/m ²		1000	
Максимальная точечная нагрузка, кг Maximum point load, kg		200	
Температурный коэффициент линейного расширения, °С ⁻¹ Temperature coefficient of linear expansion		0,12 × 10 ⁻³	
Светостойкость (изменение цвета) при УФ-облучении в течение 24 ч Light fastness (24 h UV-exposure)		1,96E	

to improve the properties of the biopolymer matrix of wood at the micro level, and the piezothermal treatment of semi-finished products to obtain a product with the right properties for consumers. The activated aqueous urea solution, which creates an energetically active clathrate channel in the process, is used as a base modifier of the wood substance. The diameter of the clathrate channel in the narrow part is 0.49 nm, in the wide part about 0.6 nm, however complex with urea may form any substances whose molecules have a cross sectional diameter smaller than the diameter of the clathrate.

This allows the process man to pick up the necessary target additives to modify the wood, i.e. substances give the wood the desired properties by interacting with the structural components of a biopolymer matrix. Since urea is a synergist or a compound multiplying the beneficial effects of additives, their bulk quantity is insignificant.

A feature of the SMWS technology is that base solution of the modifier is fully compatible with the natural biopolymer matrix of the wood substance, and its ability to deliver specially selected additives at the micro allows to synthesize nanoscale components of

the directed modification of the wood substance without disrupting its natural macrotexture. The ecological compatibility of SMWS and process safety are guaranteed by the fact that urea is not only a natural fertilizer for plants but also a food additive (E927b according to the international classification). The targeted additives used in minimum quantities are seamlessly included in wood substances and allow adapting the process to any wood species in any of its condition although freshly cut wood is preferable.

It should be noted that the orientation of the nanoscale

Таблица 2. Сравнительные свойства СМДВ для строительных погонажных изделий компании Dream Wood
 Table 2. Properties of SMWS for structural molded produced by Dream Wood company

Свойства (при влажности 12%) Properties (moisture 12%)	Дуб Oak	Сосна Pine	Осина Aspen	СМДВ непрессованной осины SMWS of non-pressed aspen	СМДВ прессованной осины SMWS of pressed aspen
Цвет Color	Светло-бурый Light brown	Желтый Yellow	Белый White	От желтого до коричневого From yellow to brown	От желтого до черного From yellow to black
Текстура Texture	Выражена Pronounced	Слабо Slightly	Не выражена Not pronounced	Ярко выражена Strongly pronounced	Ярко выражена Strongly pronounced
Плотность Density	690	505	495	700	1100
Влагопоглощение за 30 сут. при влажности воздуха 92%, % Water absorption for 30 days (by air humidity of 92%)	24,5	19,5	19,0	14,6	14,9
Предел прочности при статическом изгибе, МПа Ultimate strength in static bending, MPa	103,0	82,0	77,4	123,0	250,0
Твердость поперек волокон, Мпа Hardness across the grain, MPa	52,0	26,0	18,5	73,0	100,0
Биостойкость: потеря массы от воздействия плесени за 45 сут., % Biological stability: the loss of mass from the effects of mold in 45 days, %	27	27	27	4,0	3,5
Огнестойкость: потеря массы при горении, % Fire resistance: mass loss during combustion, %	18,3	36,2	19,6	5,0	3,3
Модуль упругости при изгибе, Гпа Flexural modulus, GPa	10,2	11,8	9,2	20,1	24,7
Ударная вязкость, кДж/м ² Impact strength, kJ/m ²	76,3	41,3	45,0	54,0	110,0

modification grid is determined by the microstructure of the wood biopolymer matrix, so the modes of piezothermal treatment should be adjusted taking into account the special additives used as well as the size and type of the raw materials processed.

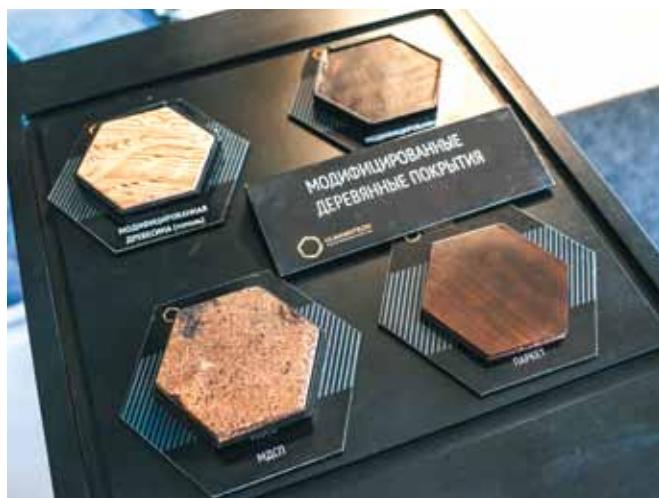
One of the development activities is the creation of industrial equipment which can not only vary the process parameters of modification depending on the raw materials used but also actively diagnose and adjust processes with the automated control systems and digital technologies. Allowance is also made for

the fact that in the context of the present shortage of lumber, the high cost of transportation as well as reduced cost of finished products, the SMWS equipment should be not only a large-scale, such as the chipboard production, but also mobile and affordable for an average-level entrepreneur.

MANUFACTURING MOLDED PRODUCTS

In cooperation with the leading Russian manufacturers of the wood modification and impregnation machines as well as with chipboard manufacturing facilities, the laboratory assistants

are involved in several innovative projects for the production of SMWS products. For example, the Dream Wood company (Ulyanovsk) is expected to manufacture on a monthly basis up to 250 cubic metres of solid flooring and decking, building boards and construction timber made of SMWS. It is planned that the operational characteristics and source species subject to modification will be agreed with the customer. Table 1 shows the design performance indicators for a set of Dream Wood terraced covering, Table 2 shows the comparative properties SMWS for



*Модифицированные деревянные покрытия
Modified wood coatings*

некоторое количество оборудования, не затрагивая при этом принципиальную схему производственного процесса, а лишь модернизируя стандартное оборудование.

Инициаторы проекта предполагают также разработку и создание опытно-промышленной мобильной линии для производства ЭДСМ. Современные технологии производства ДСП с целью снижения себестоимости продукции требуют больших мощностей. Однако это приводит к проблемам по снабжению сырьем и росту затрат из-за увеличения логистических издержек на перевозку балансов, причем часто это – деловая древесина. Возить же

опилки и вовсе нерентабельно. Мобильная линия для производства ЭДСМ может быть размещена в непосредственной близости от крупных деревообрабатывающих комбинатов, а по мере выработки накопленных запасов сырья – перевозиться к очередному заказчику для удаления терриконов опилок и щепы. Таким образом, логистика сырья сводится к поставкам сравнительно небольшого объема модификатора в стандартной таре с предприятия-производителя.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ДРЕВЕСНЫЙ МОДУЛЬ

Перспективные направления ОКР связаны со строительством высококачественного недорогого жилья с применением универсального модифицированного древесного модуля (УМДМ), который представляет собой бесклейовое соединение двух профилированных брусков из СМДВ (стенок) с помощью дискретных, расположенных с определенным шагом закладных вставок (связок). Размеры модуля унифицированы и позволяют собирать как стендовые элементы конструкции дома, так и элементы пола, перекрытий и несущих конструкций, лестницы, крышу и т.д. Во внутренних пустотах можно размещать коммуникации (электро-, водо- и газопроводы) с последующим заполнением утеплителем из пористых плит СМДВ.

Строительные элементы, изготовленные из модифицированной древесины дешевых пород, позволяют снизить стоимость дома, значительно

structural molded used for construction purposes.

EECO-FRIENDLY WOODCHIP MATERIAL

Another innovative project in progress is the production of environmentally friendly woodchip material (EFWCM) that is SMWS-based. The proposed technology concerning the use of natural components of wood substances eliminates from the traditional chip board production process toxic resins and waste, which may only be disposed of at special landfills, reduces power consumption, recycle the so-called "old" waste

that have laid for several years in dumps of wood processing facilities. The commercial introduction of the EFWCM technology will cut a number of units without influencing the production process concept but only upgrading the standard equipment.

The project initiators also intend to develop and establish test output mobile lines for the production of EFWCM. To reduce the cost of production, the modern chip board production technologies require larger capacities. However, this leads to problems associated with the supply of raw materials and increased

costs due to increased logistics costs for the transportation of balances, often it concerns the commercial timber. It is unprofitable to transport chips at all. A mobile line for the production of EFWCM can be placed in close proximity to large woodworking plants, and as soon as the accumulated stocks of raw materials are depleted, it can be taken to another customer to remove heaps of sawdust and wood chips. Thus, the raw materials logistics will be limited to the supply of a relatively small amount of modifier in standard packaging from the manufacturer



повысить его прочностные и эксплуатационные качества, огне-, био-, влагостойкость при отсутствии необходимости дополнительной отделки и очень значительном сроке эксплуатации.

ПЕРЕРАБОТКА ЗАТОПЛЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Важным ресурсосберегающим направлением является создание технологии переработки затопленной древесины. Объем тополяка в российских реках, который может быть использован в качестве деловой древесины в строительстве и мебельной промышленности, – более 30 млн. м³. Более 50 млн. м³ экономически выгоднее перерабатывать в измельченном состоянии в ЭДСМ. Эти объемы не востребованы целлюлозно-бумажными комбинатами так как по своим физико-химическим свойствам не подходят для существующей технологии. Большие объемы тополяка и полу затопленной древесины вызывают серьезные проблемы с точки зрения и экологии, и эксплуатации гидротехнических сооружений. В настоящее время при

их переработке применяются утилизационное сжигание, пиролиз, получение пеллет.

По данным ЦНИИ Лесосплава стоимость промышленного подъема одного кубометра тополяка на берег составляет в среднем 3500 руб., а стоимость кубометра высушенного тополяка в бревне для производства мебели доходит до 4000 долл. Проблема состоит в том, что бревно тополяка очень затратно высушивать по известным технологиям, а при хранении в штабелях на месте подъема оно растрескивается уже через двое суток. При измельчении тополяка качество опилок не устраивает производителей ДСП, поэтому такое сырье обычно сжигается.

Технология СМДВ позволяет использовать эти объемы (свыше 85 млн. м³) как в виде массива, так и в виде опилок. Для решения проблемы хранения тополяка на берегу целесообразно создание специального предварительно пропитанного активным модификатором полотна, которым бревна будут укутываться сразу после подъема, что исключит растрескивание древесины. ■

MULTI-PURPOSE MODIFIED WOOD MODULE

Promising areas of development are related to the construction of high-quality low-cost housing with the use of the versatile modified wood module (VMWM) which is a combination of glue-free connection with the help of discrete embedded inserts (cords) of two profiled SMWS bars (walls). The module dimensions are standardised and allow you to assemble both the wall elements of houses and floor elements, roofing elements and load-bearing structures, stairs, roof etc. In the internal cavities utilities (power lines, water and gas pipelines) can be placed followed by the filling of the porous insulation boards made of SMWS.

Building elements made of the modified low-value wood species will reduce the value of a house, greatly enhance its strength properties and functional quality, fire resistance, bio-proofness and moisture resistance without the need

for additional finishing and with a very long period of operation.

PROCESSING THE SINKERS

An important trend in resource-saving technologies is the creation of a flooded timber processing technology. The amount of sunken wood in the Russian rivers, which can be used as commercial timber in the construction and furniture industries, is more than 30 million cubic metres. It is economically more reasonable to transform more than 50 million cubic metres into EFWCM in the finely divided state. These amounts are not demanded by pulp and paper mills because their physical and chemical properties are not suited for existing technologies. Large amounts of sunken wood and waterlogged wood cause serious problems from the points of view of ecology and operation of hydraulic facilities. At the moment, the recycling combustion, pyrolysis and pellet production are used in manufacturing.

According to the Central Research Institute of Wood Rafting, the cost of industrial lifting of one cubic metre of the sunken wood to the coast averages 3,500 roubles, and the cost of a cubic metre of the sunken wood dried in the log for the manufacture of furniture reaches \$ 4,000. The problem is that it is quite expensive to dry the sunken wood logs with known methods, and when stored in stacks at the place of lifting they begin to crack already after two days. When grinding the sunken wood chipboard manufacturers are not satisfied with the quality of sawdust, so these raw materials are usually burned.

With the SMWS technology these volumes (over 85 million cubic metres) can be used in the form of an array or sawdust. To solve the sunken wood storage problem on the coast, it is advisable to create some special sheeting pre-impregnated with an active modifier for logs to be wrapped up shortly after lifting that eliminates wood cracking. ■