

Ю. А. Свинороев, канд. техн. наук, доцент (Краснодонский факультет инженерии и менеджмента Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, г. Краснодон, Украина)

## Лигниносодержащие литейные связующие материалы – новые возможности

*Механоактивация и модифицирование, наиболее эффективные инструменты управления свойствами лигниносодержащих материалов. Их применение приводит к существенному повышению качества связующих материалов, позволяет управлять процессами структурообразования при формировании полимерной матрицы связующего. Такой подход может стать действенным регулятором для расширения объемов применения экологически безопасных связующих материалов, к которым по праву можно отнести лигносульфонаты. Это открывает новые горизонты их использования как альтернативы связующим материалам на фенольной основе.*

**Ключевые слова:** механоактивация, модифицирование, лигниносодержащие литейные связующие материалы, связующая способность, показатели качества

*Механоактивація та модифікування, найбільш ефективні інструменти управління властивостями матеріалів, що містять лігнін. Їх застосування призводить до суттєвого підвищення якості сполучних матеріалів, дозволяє управляти процесами структуроутворення під час формування полімерної матриці сполучного. Цей підхід може стати дієвим регулятором для розширення обсягів застосування екологічно безпечних сполучних матеріалів, до яких відносяться лігносульфонати. Це відкриває нові горизонти їх використання як альтернативи сполучною матеріалами на фенольній основі.*

**Ключові слова:** механоактивація, модифікування, лігніновмісткі ливарні сполучні матеріали, єднальна здатність, показники якості.

*Mechanical activation and modification of the most effective tools to control the properties of lignin-containing materials. Their use leads to a significant improvement of the quality binders, allows you to manage the processes of structure formation in the formation of the polymer matrix of the binder. Such an approach can be an effective control to expand the volume of use of environmentally friendly adhesives, which can be rightly dismiss lignosulfonates. This opens up new horizons for their use as an alternative to binding materials based on phenol.*

**Keywords:** mechanical activation, modification, ligninosoderzhaschie foundry binders, binding capacity, quality indicators

**Постановка проблемы.** Потребности в инновационном обновлении производства, мотивируемые кризисными явлениями в экономике, привели к необходимости поиска и реализации таких технических решений, которые бы минимизировали расход, как правило, дорогостоящего и дефицитного сырья при сохранении требуемого уровня свойств и качества выпускаемой продукции. Подобными решениями в сфере технологий использующих связующие материалы, могут стать методы их механообработки и модифицирования. Противоречие между требованиями к стабильности и постоянному увеличению качества продукции и не соответствию этому современному состоянию производства, проявляющегося в аспектах морального и физического состояния функционирующих технологических процессов, составляет сущность рассматриваемой проблемы.

Обеспечение требуемых показателей качества продукции получаемой при использовании связующих материалов, не возможно без перехода на новые экологически чистые виды этих материалов, что требует пересмотра методов их обработки и технологий использования. Решение данной проблемы, состоит в поиске перспективных путей, исследовании возможностей их реализации, с последующей их формализацией в виде конкретных технических решений для имплементации в реальное производство.

**Цель и задачи исследований.** Целью работы является комплексное исследование возможностей применения прогрессивных методов обработки связующих материалов, состоящих в их механоактивации и модифицировании, для обеспечения нормативного уровня показателей качества конечной продукции при условии снижения её себестоимости и общего повы-

шения уровня экологичности производства. Для этого предложено, в качестве модельного объекта для замещения, применяющихся в настоящее время, дорогостоящих и экологически опасных масляных материалов и синтетических смол, применять лигносульфонатные связующие материалы (ЛСТ), продукты вторичной переработки растительного сырья, экологичные не дефицитные и относительно дешевые по стоимости [1]. Для обеспечения технологически необходимого уровня свойств ЛСТ, и их корректировки, предложено использовать методы модифицирования и механообработки. Это предполагает: во-первых, поиск и теоретическое обоснование возможностей использования в качестве инструментов механообработки и модифицирования ЛСТ, с целью повышения их связующей способности и стабилизации свойств, и, во-вторых, анализ вариантов возможных

технических решений с разработкой рекомендаций по их конкретному применению в различных технологических процессах. При этом сами лигниносодержащие материалы рассматривались как потенциальное сырьё для разработки принципиально новых связующих композиций с наперед заданными свойствами, а методы воздействия на них (модифицирование и механообработка) как инструменты для регулирования и обеспечения требуемого уровня показателей качества [2].

Изложение полученных результатов исследований. Многие производства построены на технологических процессах использования связующих материалов. К ним относится литейное производство (изготовление литейных форм и стержней), деревообработка (изготовление древесно-стружечных и древесноволокнистых плит), металлургическое производство (гранулирование различных сыпучих материалов) и многие другие. В силу своей специфики применения многие связующие материалы, во-первых, являются первопричинами возникновения брака продукции, а, во-вторых, источником образования выбросов в окружающую среду, что влечет за собой необходимость решения не только экономических но и экологических задач. Затраты на решение подобных вопросов занимают не последнее место в структуре себестоимости готовой продукции. В этой связи актуальна проблема разработки и создания таких связующих материалов, которые бы обладали умеренной стоимостью, не несли бы угрозы безопасности для людей и окружающей среды. К подобным материалам можно отнести все лигниносодержащие вещества. Это продукты переработки растительного сырья, прежде всего древесины на целлюлозу. Типичным представителем таких материалов являются технические лигносульфонаты (ЛСТ). Они, обладая целым комплексом положительных качеств, не находят достаточно широкого применения в промышленном производстве поскольку имеют относительно слабую связующую способность и нестабильные свойства. Так, у наиболее эффективных связующих материалов, например, синтетических смол, удельная связующая способность составляет 0,5–1,2 МПа на процент связующего в составе смеси, в то время как у ЛСТ лишь 0,03–0,09 МПа, что не удовлетворяет технологическим

требованиям, а свойства заявляемые в сертификате качества могут существенно отклоняться от указанных. Таким образом, отсутствие у этой группы материалов технологически необходимого уровня прочностных характеристик в сочетании с нестабильностью свойств существенно ограничивает область их применения. В тоже время, проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что методы модифицирования и механообработки могут существенным образом, на порядок (с 0,03 до 0,5 МПа % связующего в смеси), изменять связующую способность композиций с ЛСТ, а это позволяет рассматривать реальную возможность модернизации технологических процессов производства, в части замены упомянутых смоляных и масляных связующих новыми, на более экологичные, и менее дорогие лигносульфонатные [3, 5]. Однако, применение подобных связующих влечет потребность в изменении проведения самой технологии, за счет привнесения в её структуру комплекса технологических операций для осуществления модифицирования и механообработки.

Рассмотрим существо подобного рода обработки. Сущность модифицирования ЛСТ состоит в целенаправленном введении в состав материала специальных веществ комплексного действия позволяющих повышать их связующую способность за счет изменения протекания процессов полимеризации. Вводимый модификатор инициирует в процессе сушки формирование на поверхности наполнителя трехмерной полимерной сетки обеспечивающей высокие интегральные прочностные характеристики [3, 4, 6].

Механообработка, иногда её называют механоактивацией, состоит в обработке жидких полимерных систем на дезинтеграторных установках. Это приводит к активации или (нет четко установленной терминологии) активации компонентов связующего, диспергированию его отдельных фаз, их архитектурной модификации на уровне наноструктур, повышению реакционной способности обрабатываемого материала, возникновению активных центров в их структуре, в данном случае ЛСТ. Это, в конечном итоге, проявляется в более активном взаимодействии обработанного, таким образом, связующего с веществом среды (наполнителем). В комплексе, такие воздействия (модифицирова-

ние и механообработка) вызывают повышение стабильности свойств и улучшение некоторых технологических показателей (связующей способности, вязкости, смачиваемости и т. д.).

Такой подход к решению проблемы связующих материалов привлекателен тем, что при определенных режимах механического воздействия материал претерпевает структурные изменения, в данном случае усредняется молекулярно-массовое распределение ЛСТ, что должно приводить к стабилизации их свойств в целом. Происходит, на какое-то время (проявляется эффект гистерезиса), разукрупнение наноструктур, изменяется pH среды, а вследствие разрыва химических связей возникнут свободные радикалы, которые становятся потенциальными центрами инициирования процессов структурообразования при отверждении.

Эти методы воздействия, каждый в отдельности или в комбинации, могут стать эффективным инструментом управления процессами, приводящими к стабилизации свойств материала и качественного изменения его интегральных характеристик, в частности прочностных свойств в требуемом направлении. Такой регулятор свойств позволит разрабатывать связующие композиции с наперед заданными свойствами, при обеспечении экологической чистоты производственного процесса.

Данная теоретическая модель может быть технически реализована за счет предварительной (сразу после поступления материала на предприятие) обработки, состоящей из комбинации методов механического воздействия и введения модификаторов (например ПАВ).

В этом случае, смысл задачи повышения связующей способности ЛСТ состоит в определении и создании таких условий, которые бы приводили к образованию прочной сшивки между полимеризующимися компонентами олигомерных молекул ЛСТ, и к образованию трехмерной полимерной матрицы после отверждения. Именно такое состояние структуры полимера соответствует его максимальной связующей способности.

Определим факторы, которые будут обуславливать возможность технической реализации рассмотренной теоретической модели.

Поскольку связующую способность материала определяют по прочности модельной смеси (стан-

дартных «образцов – восьмерок», для литейных связующих), то для понимания возможных путей ее увеличения необходим полный анализ факторов, которые могут повлиять на этот показатель на всех этапах процесса приготовления состава смеси и отверждения композиции. Сюда входят операции дозировки связующего, при приготовлении смеси; формовка и сушка готовых изделий (форм и стержней). Учитывая перечисленное, в общем случае, повышение связующей способности может быть достигнуто за счет целенаправленного комплекса мероприятий, которые могут включать в себя:

- оптимизацию состава связующего и режимов смесеприготовления, что приведет к равномерному распределению связующего по составу смеси и образованию равномерных пленок с однородной структурой на зернах наполнителя;
- оптимизацию режимов уплотнения и формовки;
- подбор веществ, способствующих образованию поперечных сшивок между олигомерными цепями лигносульфоновых кислот в процессе отверждения, т.е. отвердителей АСТ, которые бы вводились либо дополнительно, либо выступали как часть стабилизационного комплекса;
- выбор и применение катализаторов;
- оптимизацию режимов сушки (продолжительность, температура).

Конкретизируя задачу, в части изменений непосредственно свойств АСТ, необходимо уделить особое внимание значимости методов модифицирования. Как было сказано их смысл, в общем случае, состоит в целенаправленном внесении в состав материала специальных веществ, влияние которых приводит к изменению каких-либо свойств. В классическом представлении, процесс структурообразования лигниносодержащих веществ идет в несколько последовательно-параллельных стадий. На начальном этапе, в стадии линейной конденсации формируются низкомолекулярные продукты, далее степень сшивки между макромолекулами увеличивается, образуются поперечные углерод-углеродные связи, степень обратимости связей таких структурных составляющих снижается, они способны к набуханию, но уже не растворимы в воде. На завершающих этапах процесса идет формирование трехмерной полимерной сетки, однако

большая степень дифференциации молекулярно-массового состава не позволяет получить однородную полимерную матрицу. Наличие в исходном материале сочетаний очень крупных молекулярных агрегатов, с молекулярной массой в сотни миллионов единиц, и агрегатов, в несколько тысяч единиц, приводит к формированию итоговой полимерной матрицы не регулярной структуры. Такое исходное состояние предопределяет образование больших значений внутренних напряжений в образующейся конструкции полимера при отверждении. Итоговой характеристикой такого результата есть низкая прочность литейных стержней и форм. Такое представление механизма структурообразования АСТ приводит к пониманию того, что мероприятия, проводимые для стабилизации свойств АСТ, повлияют и на улучшение их связующей способности. Учитывая это, следует особое внимание уделить поиску веществ (модификаторов), способствующих иницированию и протеканию процессов образования трехмерной полимерной сетки по связям между пропановыми цепочками и ароматическими ядрами макромолекул лигносульфоновых кислот, либо обеспечивающих образование указанных поперечных связей. При этом целесообразно применять модификаторы комплексного действия, которые бы воздействуя на материал, выполняли функции стабилизации технологических характеристик и способствовали увеличению связующей способности.

Другим фактором, определяющим возможности повышения связующей способности АСТ, есть интенсификация направленности действий, связанных с повышением уровня кооперативных донорно-акцепторных связей, как между структурными элементами связующего, так и на границе раздела связующее – наполнитель. Критерием этому могут быть снижение краевого угла смачивания, в системе связующее – наполнитель, повышение уровня адгезионных сил.

Гомогенизация внутреннего строения связующего, снижение краевого угла смачивания должны повлиять на изменение структуры пленок на поверхности наполнителя и оптимизацию распределения связующего по составу смеси, что приведет к повышению прочностных характеристик.

Как отмечалось, механообработка приводит к гомогенизации, выравниванию полимолекулярного

состава связующего и повышению кислотности среды, а это способствует иницированию процессов структурообразования за счет создания кооперативных донорно-акцепторных связей. Гомогенизация – усреднение размеров и масс молекулярных агрегатов структуры связующего, как следствие механообработки, в приведенной концепции понимания происходящих процессов, приведет к стабилизации свойств и повышению связующей способности системы в целом. Инструментами регулирования и управления процессами структурообразования как раз могут выступить методы механоактивации и модифицирования АСТ.

Таким образом, предполагается, что описанные мероприятия (модифицирование как способ обеспечения поперечных связей, и механообработка как путь гомогенизации наноструктур АСТ) могут способствовать улучшению свойств АСТ: повышению связующей способности и общей стабилизации свойств.

Выдвинутые предположения, о механизмах управления процессами структурообразования лигносульфонатных связующих и способах улучшения их свойств, требуют теоретического анализа технических методов их реализации.

#### **Рассмотрим технические аспекты их применения.**

Влияние механических воздействий на изменение свойств обрабатываемых материалов было замечено давно, однако как метод целенаправленного изменения свойств этих материалов, подобная обработка, получила распространение относительно недавно, примерно с середины 80-х годов двадцатого века. Данная методика вошла в практику производства под названием механической или механохимической активации. Механическая активация характеризуется повышением поверхностной активности вновь образованных ювенильных поверхностей и изменением строения поверхностной структуры твердых тел, либо изменением состава и состояния надмолекулярных и наноструктур в жидких средах. Механохимическая активация проявляется, для твердых тел, в кристаллических изменениях, связанных с образованием или разрушением химических соединений, для жидкостей, в разрыве химических связей макромолекул, полимерных или олигомерных цепей. Смысл термина активация состоит в придании, за счет

протекания этих явлений, обрабатываем материалам не обычных, не характерных для них в стандартных состояниях свойств.

Активация материалов осуществляется за счет высокого энергетического воздействия. Величина поля механического нагружения может колебаться в пределах от 350 до 700 *g* [7].

Технической установкой реализующей данный процесс является дезинтегратор. Этот аппарат относится к устройствам ударного действия, состоит из станины, на которой монтируются два электродвигателя, соединенные с помощью муфты сцепления и ременной передачи с валами промежуточного подшипникового узла. На концах валов закреплены ротора, оборудованные специальными дисками с рядами победитовых наконечников, заключенные в рабочую камеру, также смонтированную на станине. Прохождение обрабатываемого материала по системе каналов, через вращающиеся в противоположных направлениях с большой скоростью диски роторов, обеспечивает его активацию. Степень активации регулируется скоростью вращения дисков.

Механизм активации в дезинтеграторе заключается в передаче обрабатываемому материалу ряда мощных импульсов механической энергии с малыми промежутками между чередующимися ударами, что приводит к накоплению в активуемом материале определенного количества энергии, способной вызывать в нем изменения химических, физических и технологических характеристик. Аккумулируемая таким образом в материале энергия изменяет его свойства.

Характер влияния механоактивации на ЛСТ будет носить сложный характер, поэтому, для упрощения анализа, целесообразно предположить, что такое воздействие будет складываться из двух составляющих: воздействие непосредственно на олигомерные цепи лигносульфоната и на растворитель – воду. Как было показано ранее ЛСТ, как технический объект, представляют собой водный раствор лигносульфоновых кислот, с содержанием растворителя – воды в количестве 48–60%. По-этому, необходимо учитывать как изменение состояния структурных образований лигносульфонатов, так и изменение состояния растворителя.

Известно, что обработка воды в дезинтеграторе приводит к изменениям в ее нано- и примесной струк-

турах, это приводит к изменению ее физико-химических свойств, в частности возрастает теплота смачивания, повышается рН, уменьшаются плотность и жесткость.

Механизм активации ЛСТ изучен не достаточно, но, зная их природу и проводя параллели с теоретическими представлениями о механоактивации жидких сред, можно предположить:

– при дезинтеграции в первую очередь будет происходить разрушение, вернее разукрупнение, высокомолекулярных структурных составляющих ЛСТ;

– разукрупнение высокомолекулярных структурных составляющих будет приводить к появлению активных центров, склонных структурироваться с образованием кооперативных донорно-акцепторных связей;

– подбор определенных режимов обработки может вызвать разрушение химических связей олигомерных цепей лигносульфоновых кислот, что инициирует образование активных, химически высокореакционных, центров в виде свободных радикалов;

– обработка приведет к изменению параметров состояния материала, поскольку, вероятно, в результате воздействия больших механических энергий происходит разрушение существующей реальной структуры жидкой среды, что в свою очередь может явиться причиной изменения ее свойств;

– влияние растворителя, так же не возможно не учитывать, а это значит, что активация примесной структуры воды приведет к образованию электрически активных кластеров или микроколлоидных частиц, которые после своего образования могут влиять на микроскопические свойства системы в целом, а при отверждении выступать в качестве центров инициирования процессов структурообразования.

С точки зрения термодинамических представлений, исходная жидкая среда, к которой относятся лигносульфонатные связующие, имеет капельную или доменную структуру, на границах которых локализуются низкомолекулярные фракции, поверхностно-активные вещества, примеси, в результате чего возникает, так называемое, «внутреннее давление», определяемое размером домена, особенностями конфигурации установившейся структуры и величиной граничной энергии зависящей от природы жидкости. Это давление существенно влияет на макроско-

пические свойства жидкой системы: теплоту смачивания, вязкость, плотность – что, в данном случае, во многом определяет связующую способность материала (распределение связующего по объему смеси, толщина пленок на поверхности наполнителя, адгезия, контактная прочность и т. д.). При механообработке доменная структура жидкости разрушается, она приобретает гомогенное, «монокристаллическое» строение. Низкомолекулярные фракции и примеси равномерно распределяются по объему среды, внутреннее давление минимально. Такое состояние предопределяет образование структурнооднородных и более прочных полимерных матриц при отверждении.

Это позволяет говорить, что теоретически механоактивация может быть эффективным инструментом изменения (улучшения) свойств лигносодержащих материалов.

Подобная обработка, проведенная на целом ряде связующих материалов, позволяет выявить определенные устойчивые и повторяющиеся закономерности и сделать следующие выводы:

1. Прослеживается общая тенденция увеличения связующей способности органических литейных связующих при их дезинтеграторной обработке, в частности это характерно для связующих – ЛСТ, УСК, КО .

2. Механохимическая активация связующего ЛСТ в УДА-установках увеличивает его связующую способность до 20 %, однако при этом наблюдается некоторое повышение осыпаемости технологической пробы, которая может быть нормализована варьированием различных режимов отверждения или введением специальных добавок.

3. Применение в составе стержневой смеси активированного связующего УСК позволило увеличить ее прочность до 2,09 МПа, т. е. в 1,27 раза.

4. Повышение связующей способности у механоактивированных органических связующих объясняется их повышенной реакционной способностью, за счет образования в структуре различных активных центров.

5. Обработка в дезинтеграторной установке связующего УСК вызвала уменьшение длины углеродной цепи на 19 %, что непосредственно сказалось на его молекулярной массе, которая с повышением режима активации также уменьшилась.

6. Пластическая вязкость механоактивированного связующего УСК с увеличением режима активации возрастает, причем многократная активация, в частности 5-ти кратная, способна повысить вязкость данного органического связующего на 30 %.

7. Учитывая малую энергоёмкость механохимической активации в УДА-установках, следует признать перспективность ее применения для повышения технологических свойств органических литейных связующих.

Таким образом, по предварительным оценкам, реализация предложенного подхода позволит сократить содержание дорогостоящего и экологически опасного ресурса – органического связующего в смеси на 15–25 %.

Полученные результаты могут быть формализованы в виде трех основных вариантов технических решений (см. табл. 1–3).

1. Для технического решения при использовании метода модифицирования;

2. Для технического решения с комбинацией использования методов модифицирования и механоактивации;

3. Для технического решения с использованием механической обработки.

Приведенные в таблицах варианты технических решений могут быть реализованы в разнообразных производственных процессах, где применяются в том или ином виде связующие материалы. По причинам защиты окружающей среды и

экономической целесообразности особое внимание уделять связующим композициям получаемых на основе лигносульфонатных материалов. Предложенные варианты позволяют быстро и без каких-либо существенных дополнительных затрат реализовать в реальном производстве рекомендации по табл. 1. В тоже время, варианты, приведенные в табл. 2 и 3 требуют дополнительных вложений – покупка дезинтеграторных установок, окупаемость которых может колебаться от одного года до трех, в зависимости от объемов производства и специфики литья, а также видов связующих применяющихся в данном технологическом процессе.

#### Выводы

На основании проведенных исследований установлено, что теоретическая основа применения прогрессивных методов обработки связующих материалов базируется на возможности управления процессами структурообразования лигносульфонатных связующих направленных на улучшения их свойств, в частности связующей способности и удельной прочности. Преимущество данных методов состоит в том, что возможно избирательные структурные изменения связующего для обеспечения требуемых, наперед заданных прочностных показателей изделия. При этом модифицирование реализует задачу привнесения в состав связующего компонентов функционально обеспечивающих поперечную сшивку олигомерных цепей лигносульфонатных материалов, а меха-

ноактивация создание активных центров инициирующих и облегчающих этот процесс.

Таким образом, инструментами регулирования и управления процессами структурообразования могут выступать методы механоактивации и модифицирования. Экологичность технологии обеспечивается применением экологически чистых исходных материалов, к которым относятся все лигносульфонатные вещества, в частности АСТ.

Приведенные практические рекомендации могут быть использованы в технологических процессах производства литейных стержней отверждаемых конвективной сушкой. В частности для технологии производства стержней отопительного радиатора, а также для производства чугунно-го фасонного литья.

Комбинация использования методов модифицирования и высокоэнергетической механоактивации (см. табл. 2) может быть применена в технологии производства стержней раструба для производства чугунных напорных труб, которые изготавливаются по нагреваемой оснастке (в горячих ящиках). В этом случае, активные центры образованные в связующем (в АСТ), вследствие механообработки, будут выступать в качестве инициирующих активных центров процесса формирования трехмерного сетчатого полимера, обеспечивающего высокие интегральные характеристики прочности литейного стержня.

**Таблица 1. Рекомендации по практическому применению методов модифицирования и механообработки АСТ для получения эффективных связующих композиций для технического решения при использовании метода модифицирования**

№ операции	Назначение операции	Содержание операции	Параметры проведения
1	Подготовка исходных материалов	1) прогрев АСТ	75–80 °С
		2) прогрев модификатором	45–50 °С
		3) взвешивание в необходимых пропорциях	92 % АСТ 8 % НПАВ
2	Дозировка	Смешивание подготовленных компонентов	65–70 °С
3	Выдержка композиции	Протекание процессов гомогенизации полидисперсного состава композиции АСТ – НПАВ, сопровождаемых объемным агрегатированием материала	65–70 °С
4	Подача композиции на эксплуатацию	Применение в качестве связующего материала	В соответствии с регламентом технологического процесса

**Таблица 2. Рекомендации по практическому применению методов модифицирования и механообработки АСТ для технического решения с комбинацией использования методов модифицирования и механоактивации**

№ операции	Назначение операции	Содержание операции	Параметры проведения операции
1	Подготовка исходных материалов и оборудования	1) прогрев АСТ 2) подготовка, настройка на рабочие параметры дезинтеграторной установки	40 °С
2	Дезинтеграторная обработка	Подача АСТ в дезинтеграторную установку, осуществление процесса механообработки, формирование в структуре АСТ активных центров	При температуре 25–30 °С и частоте вращения 12000 об/мин
Операции 3, 4, 5, 6 в соответствии с табл. 1			

**Таблица 3. Рекомендации по практическому применению методов модифицирования и механообработки АСТ для технического решения с использованием механической обработки**

№ операции	Назначение операции	Содержание операции	Параметры операции
1	Подготовка исходных материалов и оборудования	1) прогрев АСТ 2) подготовка, настройка на рабочие параметры дезинтеграторной установки	40 °С
2	Дезинтеграторная обработка	Подача АСТ в дезинтеграторную установку, осуществление процесса механообработки, формирование в структуре АСТ активных центров	При температуре 25–30 °С и частоте вращения 12000 об/мин
3	Подача композиции к использованию	Применение в качестве связующего	Применить в течение 24 ч с момента обработки в соответствии с регламентом

Активное применение методов модифицирования и высокоэнергетической механообработки связующих и в частности АСТ на региональных предприятиях позволяет улучшить экологическую обстановку как на самом производстве, так и в районах его функционирования, за счет полного или частичного устранения из технологического цикла потенциальных источников вредных выбросов – смоляных и масляных связующих. За счет сокращения объемов применения связующих материалов на 15–25 % снизить ресурсоемкость производства.

#### Список литературы:

1. Фейнгольд М. И. Перспективы получения и использования технических лигносульфонатов / М. И. Фейнгольд // Тезисы доклада конференции «Формовочные и стержневые смеси с органическими связующими материалами в

литейном производстве». – К.: Общество «Знание», Украина, 1993. – С. 6–8.

2. Свиноров Ю. А. Применение прогрессивных методов обработки литейных связующих как инструментария для снижения ресурсоемкости технологических процессов и решения производственно-экономических проблем региональных предприятий / Ю. А. Свиноров // Вестник Восточноевропейского национального университета имени Владимира Даля. – 2009. – № 2 (132). – С. 362–371.

3. Свиноров Ю. А. Теоретические предпосылки разработки новых экологически чистых связующих на основе технических лигносульфонатов для фасонного литья в производстве деталей машин пищевой промышленности / Ю. А. Свиноров // Вестник Восточноевропейского национального университета имени Влади-

мира Даля. – 2005. – № 11 (93). – С. 186–189.

4. Діагностика безпеки розвитку потенціалу підприємства: монографія / [О. В. Родіонов, Ю. С. Свиноров та ін.]. – Луганськ: Вид-во «Ноулідж», 2012. – 292 с.

5. Инженерная экология литейного производства: Учебное пособие / [А. Н. Болдин, А. И. Яковлев, С. Д. Тепляков]; под общ. ред. А. Н. Болдина. – М.: Машиностроение, 2010. – 352 с.

6. Смолко В. А. Физико-химические процессы формирования структуры и прочностных свойств литейных форм и стержней из песчаных смесей : Автореф диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.16.04 «Литейное производство» / В. А. Смолко. / Челябинск, 1996. – 31 с.

7. Симионеску К. Механохимия высокомолекулярных соединений / Симионеску К., Опра К. – М.: Мир, 1970. – 358 с.