

УДК 691.175.3

DOI 10.22213/2413-1172-2018-3-13-19

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

Ю. В. Ганзий, Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

Композитная полимерная арматура все больше находит применение в строительстве. Однако ее практически неконтролируемое конструктивное многообразие делает невозможным проектирование ответственных несущих конструкций и изделий. Композитная полимерная арматура, обладая серьезными преимуществами по сравнению со стальной, формирует свой перечень вопросов и проблем, без решения которых невозможно ее широкое и эффективное применение в строительстве.

На основе построения логистической модели технологического процесса производства композитной полимерной арматуры проведен системный анализ операций и причин возможного получения некачественной продукции. Выявлены причины возможного получения некачественной продукции, сформированы конкретные показатели контроля и автоматического регулирования параметров технологического процесса. Определен пооперационный состав контролируемых параметров, который должен отражаться в технических условиях на изготовление композитной полимерной арматуры для гарантированного получения качественной продукции.

Аналитическим путем доказано, что идентификаторами опасности получения некачественной продукции являются отсутствие контроля, регулирования и регистрации параметров технологического процесса.

Ключевые слова: арматура композитная полимерная, проблемы обеспечения качества изготовления, контролируемые параметры производственного процесса, нормативное обеспечение организации производства качественной продукции.

Область исследования

Композитная полимерная арматура все больше находит применение в строительстве. Однако ее практически неконтролируемое конструктивное многообразие, фиксируемое союзом производителей, учеными и производственниками [1–4] делает невозможным проектирование ответственных несущих конструкций в строительстве. Создалась ситуация, когда подрядчик, имея экономическую и/или технологическую заинтересованность, может выполнить соответствующий комплекс работ с применением АКП, но проектировщик отказывается от применения незнакомого и нелегитимного (для него) строительного материала.

Применение композитных материалов имеет значительно более широкие границы применения, чем строительство, в том числе и для ответственных изделий, например, в машиностроении (металлокомпозитные баллоны), ракетной технике (корпусные цилиндрические и конические оболочки) и других отраслях.

Однако требования, предъявляемые к производству этих ответственных изделий в отличие от АКП достаточно жестко регламентируются

нормативными документами, а процесс их производства организован так, что конечная продукция обладает гарантированным запасом качества и надежности в эксплуатации.

Постановка задачи научного исследования

Существующий ГОСТ 31938–2012 и нормы проектирования не позволяют применять АКП в большинстве ответственных изделий, к которым относятся строительные конструкции и сооружения. Причиной этого, как отмечается рядом авторов [5, 6], является то, что в действующих нормативных документах отсутствуют требования к производству, обеспечивающему необходимый уровень проявления свойств АКП как надежного строительного материала. Несмотря на наличие указанного основополагающего нормативного документа, процесс изготовления строительной арматуры остается многопараметричным (по форме стержня) и многофакторным (по влиянию технологических показателей, определяющих конечное качество изделия).

Основные недостатки ГОСТ 31938–2012:

– отсутствие типоразмерного ряда геометрических профилей арматурных стержней с пара-

метрами поперечных и продольных сечений, их конструктивным устройством;

– минимальный набор требований по компонентному составу (соотношение массы ривинга и смолы) и технологии изготовления (особенно режимов отверждения), которые могли бы гарантировать качество конечного продукта;

– нормы оперативного контроля при изготовлении и правила приемки при отгрузке сведены к визуальному контролю состояния поверхности стержня;

– требования к метрологическому обеспечению процесса производства отсутствуют, их разработка и оснащение линии отданы на усмотрение изготовителя и/или продавца.

Эти и другие менее значимые недостатки нормативного документа повышают влияние человеческого фактора на процесс производства, который становится подверженным в наибольшей степени критическим ситуациям, связанным со сбоем оборудования и действием случайных неконтролируемых факторов. В связи с этим в последние годы добросовестные производители АКП и ученые интенсивно ищут пути достижения гарантированного качества их изготовления и надежности в эксплуатации.

Одним из главных шагов в этом процессе является обоснование перечня факторов влияния, неучет которых приводит к получению некачественной продукции.

Идентификация опасностей получения некачественной АКП

При производстве АКП материал и изделие получают одновременно, когда практически весь полученный материал превращается в изделие, то есть обработка материала не требуется. При этом технология получения материала и производства из него стержня АКП из отдельных компонентов до готового изделия по сложности происходящих физико-химических процессов можно сравнить с металлургическим. Однако в металлургии существует система защиты от риска получения некачественного продукта – от варки стали до получения готового проката в виде стальной арматуры. Этот процесс включает получение материала (стали) и изделия (проката). Каждый из этих процессов имеет метрологическое обеспечение и строго контролируется при автоматизированной регистрации текущих параметров.

Для выявления рисков получения некачественной АКП целесообразно рассмотреть логистическую модель двуединого производственного процесса (рис. 1) «получение материала –

формование изделия», разработанную на основе обобщенной функциональной модели, предложенной в [7–10].

В качестве критерия идентификации применим одно из главных положений ГОСТ 31938–2012 по требованиям к приемке продукции:

«п. 7.9 Типовые испытания проводят:

– в случае изменения сырьевых материалов;

– в случае внесения изменений в нормативные документы на любой из сырьевых материалов;

– в случае изменения технологического процесса изготовления;

– по требованию потребителя и при сертификации».

По сути последнее условие определяет процедурные моменты организации производства и не касается технологического регламента, отражая лишь влияние человеческого фактора покупателя или органа сертификации.

Первые два требования, касающиеся исходных материалов, декларируют, хотя прямо и не указывают, что изменение может касаться любой, даже одной из паспортных характеристик. Следует учитывать, что процедура проведения типовых испытаний достаточно затратна и продолжительна по времени, поскольку максимальна по объему испытаний и количеству отбираемых образцов. В совокупности исходные материалы обладают порядка 20-25 паспортными характеристиками, и из-за изменения одной из них вероятность проведения типовых испытаний в процессе производства (для всех диаметров арматурного стержня!) практически равна нулю. Поэтому в рамках настоящего исследования принимается допущение: качество исходных материалов, получаемых для конкретного производителя, стабильно и соответствует паспортным данным поставщика. Это допущение справедливо исходя из требования указанного ГОСТа: *«5.3.1 Материалы, применяемые для изготовления АКП, должны соответствовать требованиям нормативных документов и технической документации, иметь сопроводительную документацию, подтверждающую их соответствие требованиям данных нормативных документов и технической документации, включая протоколы испытаний».*

Правильнее рассматривать возможности изменения паспортных характеристик исходных материалов из-за факторов влияния, определяющих условия хранения и подачи на технологическую линию. А эти условия можно однозначно отнести к случаю *«...изменения технологического процесса изготовления»*, т. е. к изменению

технических условий на изготовление конкретного типа АКП у конкретного производителя,

которые, как правило, являются основанием для получения сертификата.

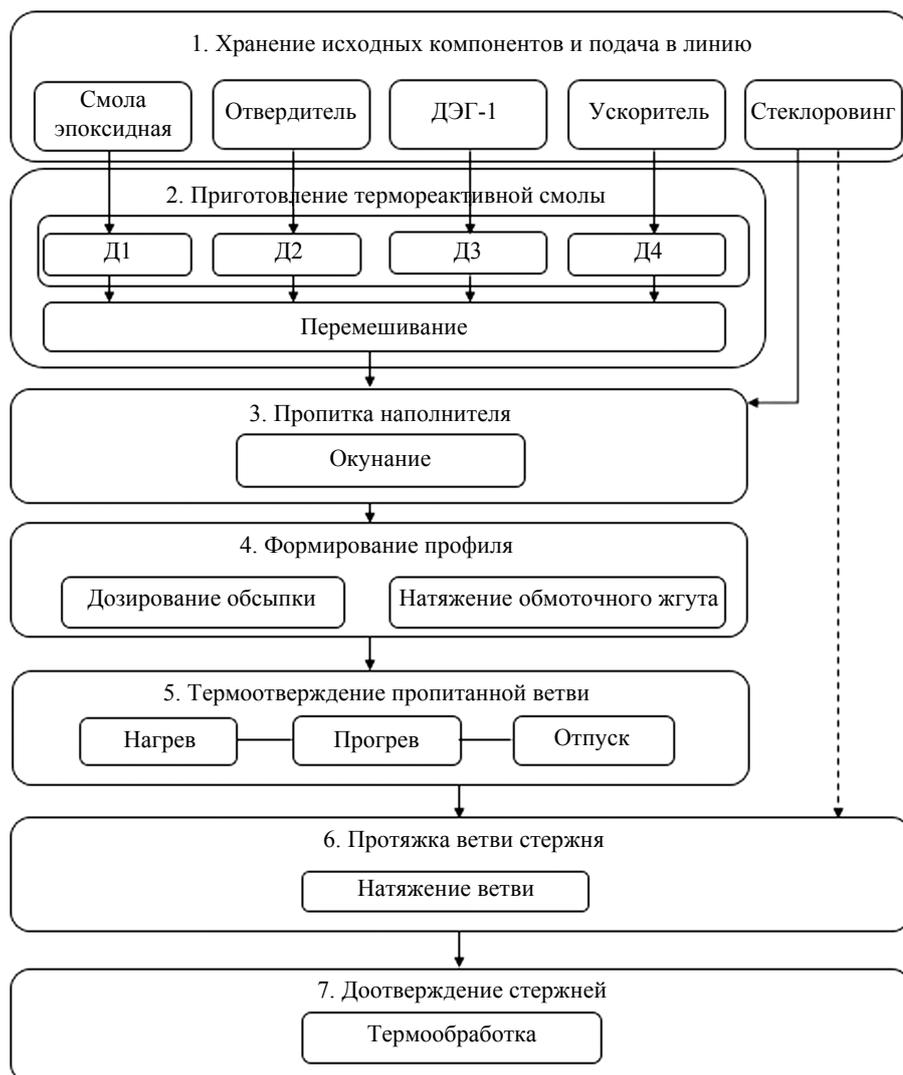


Рис. 1. Логистическая модель технологического процесса изготовления АКП

Опасности получения некачественного продукта при производстве АКП, обусловленные нарушениями и отклонениями технологическо-

го процесса (табл. 1) можно идентифицировать следующим образом.

Таблица 1. Операции технологического процесса, идентификаторы опасности и причины возможного получения некачественного продукта

№ операции	Операция технологического процесса	Идентификаторы опасностей
1	Хранение исходных компонентов и подача на линию	1. Значимое отклонение физико-механических характеристик от заданных (паспортных), вызванное нарушением правил хранения и подачи на технологическую линию
2	Приготовления термореактивной смолы	1. Нарушение соотношения дозируемых компонентов, вызванное сбоем в работе средств автоматического дозирования или их отсутствием. 2. Неоднородность термореактивной смолы, вызванная недостаточным временем перемешивания или нарушением режима перемешивания (температуры и вязкости) компонентов

Окончание табл. 1

№ операции	Операция технологического процесса	Идентификаторы опасностей
3	Пропитка ровинга (наполнителя) смолой	1. Неправильное соотношение массы смолы и ровинга в каждом сечении ветви ровинга из-за недостаточной глубины окунания и температуры смолы. 2. Фрагментарная адгезия смолы в прядях ровинга из-за скрутки, высокой скорости протяжки, плохого удаления замасливателя
4	Формование профиля с обсыпкой абразивным материалом	1. Неправильное соотношение массы абразива к массе ровинга и смолы в каждом сечении, вызванное сбоем в работе средств автоматического дозирования или их отсутствием. 2. Нарушение режимной температуры абразива, вызванное отсутствием средств подогрева или средств автоматического регулирования.
	Формование профиля с обмоточным жгутом	1. Неоднородность пропитки обмоточного жгута, вызванная нарушением режима его скрутки. 2. Отклонение силы натяжения обмоточного жгута, вызванное сбоем в работе средств автоматического регулирования или их отсутствием
5	Термоотверждение пропитанной ветви	1. Отклонение режима теплового воздействия из-за сбоя в работе средств автоматизации или их отсутствия, вызванное нарушением скоростного режима протяжки, отключение элементов нагревателя и т. п.
6	Протяжка ветви стержня	1. Превышение или снижение скорости протяжки от нормативного на недопустимую величину, вследствие чего нарушаются режимы: – пропитки ровинга; – формования профиля; – термоотверждения
7	Доотверждение стержней	1. Нарушение теплового режима в камере (температуры и/или времени выдержки) из-за ее отсутствия или сбоя в работе средств автоматизации

Требования к исходным материалам

В соответствии с требованиями ровинг должен храниться в оригинальной упаковке (и оставаться в ней непосредственно до момента использования), в сухом защищенном от влаги месте. Температура хранения не более 35 °С. При попадании влаги в ровинг он становится непригодным для дальнейшего использования. Эти требования обусловлены тем, что на прочностные свойства АКП основное влияние оказывают следующие характеристики ровинга:

- линейная плотность $L_{л}$, текс (кг/км);
- массовая доля влаги $\Delta m_{в}$, %;
- массовая доля веществ, удаляемых при прокаливании $\Delta m_{п}$, %.

Таким образом, температура и влажность в помещениях для хранения ровинга, а также в отсеке распаковки и ровингопитателя подлежат постоянному контролю и обеспечению в указанных пределах.

Подлежит контролю и обеспечению в указанном пределе температура в помещениях для хранения смолы ЭД-20, которую необходимо хранить в герметичной таре в закрытых складских помещениях при температуре не выше 40 °С. Гарантийный срок хранения эпоксидной смолы ЭД-20 – 1 год со дня изготовления.

На прочностные свойства АКП основное влияние оказывают следующие характеристики эпоксидной смолы:

- массовая доля эпоксидных групп $\Delta m_{э}$, %;
- динамическая вязкость, при 20 °С μ , Па/с;
- плотность γ , кг/м³;
- время желатинизации $T_{ж}$, ч;
- стехиометрический коэффициент $k_{ст}$.

Факторы влияния свойств ускорителя отверждения, которые подлежат контролю при испытаниях, следующие:

- чистота продукта w , %;
- влажность, л, %.

Соблюдение этих требований принимается как безусловное для гарантии качества поступающих на линию компонентов АКП, выполнении операции дозирования жидких компонентов в заданное время и подачи на пропитку термоактивной смолы с заданной вязкостью и соответствующей адгезией.

Опасности получения некачественной продукции на этом этапе изготовления идентифицируются как отклонение от требований, указанных в табл. 2.

Режимные характеристики технологического процесса

Опасности получения некачественной продукции на производственной линии идентифицируются (с учетом предложений в работе [11]) как отклонение от параметров, указанных в табл. 3.

Таблица 2. Перечень контролируемых параметров при хранении и подаче исходных компонентов, контроль которых устраняет опасности получения некачественного продукта

Наименование	Обозначение/размерность	Величина	
		Предельная	Фактическая
Температура воздуха в цеху	$T_{ц}, ^\circ\text{C}$	Не более 35	20-25
Температура воздуха в секции ровинга	$T_{р}, ^\circ\text{C}$	Не более 35	25-30
Влажность в секции ровинга	$л, \%$	Не более 80	60-80
Температура эпоксидной смолы	$T_{эс}, ^\circ\text{C}$	По ТУ производителя	
Температура отвердителя	$T_{от}, ^\circ\text{C}$		
Температура пластификатора	$T_{п}, ^\circ\text{C}$		
Температура ускорителя	$T_{у}, ^\circ\text{C}$		

Таблица 3. Перечень контролируемых параметров производственной линии АКП, контроль которых устраняет опасности получения некачественного продукта

Наименование	Обозначение	Величина	
		Размерность	Фактическая
Приготовление термореактивной смолы и пропитка ровинга			
Соотношение компонентов смеси	$\Delta m_1 / \Delta m_2 / \Delta m_3 / \Delta m_4$	кг	По ТУ изготовителя
Время перемешивания смеси	$\Delta t_{см}$	с	
Температура в термошкафу	$T_{ш}$	$^\circ\text{C}$	
Текущая масса композита в ванне	$M_в$	гр	
Массовый расход композита в ванне	$\Delta m / \Delta t$	Кг/с	
Соотношение ровинга и смолы	$\Delta m_p / \Delta m_c$	Кг/кг	ГОСТ 31938–2012
Формование профиля обсыпного (ОС) и обмоточного (ОМ)			
Частота вращения валика (для ОС)	$n_в$	1/с	По ТУ изготовителя
Соотношение скорости протяжки и обмотки (для ОС)	$V_{пр}/n$	м/с/об/с	
Массовый расход композита в ванне (для ОМ)	$\Delta m / \Delta t$	кг/с	
Соотношение ровинга и смолы (для ОМ)	$\Delta m_p / \Delta m_c$	кг/кг	
Термоотверждение			
Температура внутри рабочей камеры	$T_{р.к}$	$^\circ\text{C}$	По ТУ изготовителя
Время (продолжительность) тепловой обработки	$\Delta t_{т.о}$	с	
Протяжка			
Скорость протяжки ветви фактическая	$V_{пр}$	м/с	По ТУ изготовителя
Доотверждение			
Температура внутри камеры	$T_{в1}$	$^\circ\text{C}$	По ТУ изготовителя
Продолжительность хранения	Δt	час	

Выводы

1. В результате системного анализа построена полная логистическая модель технологического процесса производства композитной полимерной арматуры, включающая все основные операции, отклонение параметров которых может быть причиной получения некачественной продукции.

2. Предложена классификация причин возможного получения некачественной продукции для исходных материалов по каждой компоненте, включая линейный наполнитель и жидкие составляющие термореактивной смолы и операции технологического процесса, реализуемых в конкретном производстве строительной композитной арматуры.

3. Сформированы конкретные показатели контроля и автоматического регулирования па-

раметров технологического процесса для операций приготовления термореактивной смолы, формования профиля, термоотверждения, протяжки и доотверждения, которые должны отражаться в технических условиях на изготовление композитной полимерной арматуры для гарантированного получения качественной продукции.

Библиографические ссылки

1. Грахов В. П., Мохначев С. А., Саидова З. С. Структура рынка композитов России // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве : сборник материалов Второй научно-технической конференции (Ижевск, 18 декабря 2015 г.). Ижевск : Проект, 2016. С. 5–10.
2. Степанова В. Ф., Степанов А. Ю., Жирков Е. П. Арматура композитная полимерная. М., 2013. 200 с.

3. Шевнин А. А., Бучкин А. В. К вопросу о продвижении в России новых технологий, применяемых в строительстве и промышленности // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве : сборник материалов Второй науч.-техн. конф. (Ижевск, 18 декабря 2015 г.). Ижевск : Проект, 2016. С. 17–23.

4. ACI 440.1 R-06 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, 2006.

5. Пушкарев С. А. Проблемы нормативного обеспечения производства композитобетона и композитобетонных изделий // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве : сборник материалов Второй науч.-техн. конф. (Ижевск, 18 декабря 2015 г.). 2016. С. 14–17.

6. Низамов Р. Ш., Пушкарев С. А., Самойлов С. Д. Обеспечение качества композитной арматуры: диалектика производственных проблем. URL: <http://www.usin.ru/stat/publication7.html>.

7. Муравьев Ю. Л., Лебедев А. Н. Экономическая модель производства промышленной полимеркомпозитной арматуры // Фотинские чтения – 2016 : сборник материалов Третьей ежегодной междунар. науч.-практ. конф. (Ижевск, 9–11 марта 2016 г.). Ижевск : Проект, 2016. С. 104–106. ISBN 978-5-9631-0455-2.

8. Уразбахтин Ф. А., Харинова Ю. Ю., Болонкин В. А. Предельные состояния в процессе отверждения волоконистых стеклопластиков // Известия вузов. Авиационная техника. 2015. № 3. С. 79–85.

9. Уразбахтин Ф. А., Харинова Ю. Ю. Математическая модель пропитки препрега для изготовления волоконистых конструкционных композитных материалов // Интеллектуальные системы в производстве. 2013. № 2(22). С. 100–110.

10. Комков М. А., Тарасов В. А. Технология намотки композиционных конструкций ракет и средств поражения : учебное пособие. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э Баумана, 2011. 431 с.

11. Хозин В. Г., Низамов Р. Ш. К вопросу о выборе характеристик технологического оборудования для организации производства промышленной полимеркомпозитной арматуры // Региональный строительный комплекс: проблемы и перспективы развития в современных условиях : сборник материалов региональной науч.-практ. конф. (Ижевск, 25–26 мая 2016 г.). Ижевск : Проект, 2016. С. 101–105.

References

1. Grakhov V. P., Mokhnachev S. A., Saidova Z. S. [Structure of the market of composites in Russia]. *Sbornik materialov vtoroj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Aktual'nye voprosy teorii i praktiki primeneniya kompozitnoj armatury v stroitel'stve"* (Izhevsk, 18 dekabrja 2015 g.) [Proc. Topical issues of theory and practice of application of composite reinforcement in construction (Izhevsk, December 18, 2015). Izhevsk, Proekt Publ., 2016, pp. 5-10 (in Russ.).

2. Stepanova V. F., Stepanov A. Yu., Zhirkov E. P. *Armatura kompozitnaya polimernaya* [Composite polymer fittings]. Moscow, 2013, 200 p. (in Russ.).

3. Shevnin A. A., Buchkin A. V. [On the issue of the promotion of new technologies used in construction and industry in Russia]. *Sbornik materialov vtoroj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Aktual'nye voprosy teorii i praktiki primeneniya kompozitnoj armatury v stroitel'stve"* (Izhevsk, 18 dekabrja 2015 g.) [Proc. Topical issues of theory and practice of application of composite reinforcement in construction (Izhevsk, December 18, 2015). Izhevsk, Proekt Publ., 2016, pp. 17-23 (in Russ.).

4. ACI 440.1 R-06 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. *American Concrete Institute*, 2006.

5. Pushkarev S. A. [Problems of regulatory provision of production of composite concrete and composite products]. *Sbornik materialov vtoroj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Aktual'nye voprosy teorii i praktiki primeneniya kompozitnoj armatury v stroitel'stve"* (Izhevsk, 18 dekabrja 2015 g.) [Proc. Topical issues of theory and practice of application of composite reinforcement in construction (Izhevsk, December 18, 2015). Izhevsk, Proekt Publ., 2016, pp. 14-17 (in Russ.).

6. Nizamov R. Sh., Pushkarev S. A., Samoylov S. D. *Obespechenie kachestva kompozitnoi armatury: dialektika proizvodstvennykh problem* [Qualityprovision of composite fittings: dialectics of production problems]. Available at: <http://www.usin.ru/stat/publication7.html> (in Russ.).

7. Muravyev Yu. L., Lebedev A. N. [Economic model of production of industrial composite polymeric fittings]. *Sbornik materialov tret'ej ezhegodnoj mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Fotinskie chteniya – 2016"* (Izhevsk, 9-11 marta 2016 g.) [Proc. "Fotinsky readings - 2016" (Izhevsk, March 9-11, 2016). Izhevsk, Proekt Publ., 2016, pp. 104-106 (in Russ.). ISBN 978-5-9631-0455-2.

8. Urazbakhtin F. A., Harinova Yu. Yu., Bolonkin V. A. [Limit states in the process of curing fibrous fiberglass]. *Izvestiya vuzov. Aviatsionnaya tekhnika*, 2015, no. 3, pp. 79-85 (in Russ.).

9. Urazbakhtin F. A., Harinova Yu. Yu. [Mathematical model of impregnation of a prepreg for production of fibrous constructional composite materials]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2013, no. 2(22), pp. 100-110 (in Russ.).

10. Komkov M. A., Tarasov V. A. *Tekhnologiya namotki kompozitsionnykh konstruksii raket i sredstv porazheniya* [Technology of winding of composite construction of rockets and weapons of destruction: educational edition]. Moscow, MGTU im. N. E Bauman, 2011, 431 p. (in Russ.).

11. Hozin V. G., Nizamov R. Sh. [On the issue of selecting the characteristics of technological equipment for the organization of production of industrial polymer composite fittings]. *Sbornik materialov regional'noj nauch.-prakt. konf. "Regional'nyj stroitel'nyj kompleks: problemy i perspektivy razvitiya v sovremennykh usloviyah"* (Izhevsk, 25-26 maja 2016 g.) [Proc. Collection of materials of regional scientific-practical. Conf. "Regional building complex: problems and prospects of development in modern conditions" (Izhevsk, May 25-26, 2016). Izhevsk, Proekt Publ., 2016, pp. 101-105 (in Russ.).

Danger Identification of Receiving the Low-Quality Production from Polymeric Composite Material on the Example of Constructive Composite Fittings

Yu. V. Ganziy, Udmurt State University, Izhevsk, Russia

Composite polymeric fittings have been finding more and more application in construction. However, its almost uncontrollable constructive variety makes impossible the design of the responsible bearing constructions and products. On the one hand, the composite polymeric fittings have serious advantages in comparison with steel ones. But on the other hand, they form the list of questions and problems, and their broad and effective application in construction is impossible without solution of these problems.

The systematic analysis of operations and the reasons for the possible production of low-quality products has been carried out on the basis of the construction of a logistic model of the technological process for the production of composite polymeric reinforcement. Specific indicators of control and automatic regulation of process parameters have been formed.

The operational structure of the controlled parameters has been determined, that must be reflected in the technical conditions for the manufacture of composite polymeric reinforcement for the guaranteed production of high-quality products. Analytically, it has been proved that the identifiers of the dangers of obtaining low-quality products are the lack of control, regulation and registration of process parameters.

Keywords: composite polymeric fittings, problems of ensuring the quality of production, controlled parameters of production, standard providing of the organization of qualitative production.

Получено 21.05.2018