

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-272-281

ӨОЖ 681.5

ҒТАМА 50.47.29

ФИБРОЦЕМЕНТТІ ПАНЕЛЬДЕРДІ ЛАМИНАТТАУ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ АРҚЫЛЫ ӨНІМДІЛІКТІ ЖӘНЕ ӨНІМ САПАСЫН АРТТЫРУ

Сағындыкова А.Г.¹, Жамангарин Д.С.^{1*}

¹*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*

**Хат-хабар үшін автор: zhamangarin_ds@enu.kz*

Аңдатпа

Бұл мақалада фиброцементті панельдерді ламинаттау технологиялық желісінің жұмыс істеу принциптері, өндіріс тиімділігі мен дайын өнім сапасына әсер ететін негізгі технологиялық параметрлер және оларды оңтайландыру тәсілдері қарастырылған. Зерттеу нысаны ретінде өнеркәсіптік PURETE автоматтандырылған ламинация желісі таңдалып, нақты өндірістік режимдер негізінде технологиялық процесс кешенді түрде талданды. Ламинатор температурасы, пресс қысымы және тасымалдау жылдамдығының фиброцементті панельдердің беткі қабатының адгезиясы, біртектілігі және ақаусыздығына тигізетін әсері эксперименттік жолмен бағаланды. Зерттеу барысында көпфакторлы Taguchi эксперименттік жобалау әдісі қолданылып, технологиялық параметрлердің өзара ықпалы мен олардың өнім сапасына әсер ету дәрежесі анықталды. Сигнал–шұға қатынас көрсеткіштері негізінде өнім сапасын арттыруға бағытталған оңтайлы параметрлер комбинациясы ұсынылды. Алынған нәтижелер ламинаттау процесінің тұрақтылығын қамтамасыз етуге, ақаулы өнім үлесін азайтуға және энергия мен материалдық ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Ұсынылған оңтайландыру тәсілдерінің өнеркәсіптік жағдайда енгізілу мүмкіндігі дәлелденіп, оларды фиброцемент өндірісінде қолданудың практикалық маңыздылығы негізделді.

Кілт сөздер: фиброцементті панель, ламинация желісі, температура, қысым, жылдамдық, оңтайландыру.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ЛАМИНАЦИИ ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Сағындыкова А.Г.¹, Жамангарин Д.С.^{1*}

¹*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

**Автор для корреспонденции: zhamangarin_ds@enu.kz*

Аннотация

В статье рассмотрены принципы функционирования технологической линии ламинирования фиброцементных панелей, а также основные технологические параметры, влияющие на производственную эффективность и качество готовой продукции, и методы их оптимизации. В качестве объекта исследования выбрана промышленная автоматизированная линия ламинирования PURETE, на основе реальных производственных режимов которой был проведён комплексный анализ технологического процесса. Экспериментальным путём оценено влияние температуры ламинатора, давления прессования и скорости транспортировки на адгезию, однородность и бездефектность поверхностного слоя фиброцементных панелей. В ходе исследования применён многофакторный метод экспериментального планирования Taguchi, позволивший определить степень взаимного влияния технологических параметров и их воздействие на качество продукции. На основе показателей отношения сигнал/шум предложена оптимальная комбинация технологических параметров, направленная на повышение качества продукции. Полученные результаты показали возможность обеспечения стабильности процесса ламинирования, снижения доли бракованной продукции и экономии энергетических и материальных ресурсов. Обоснована возможность внедрения предложенных методов

оптимизации в промышленных условиях и их практическая значимость для производства фиброцементных изделий.

Ключевые слова: фиброцементная панель, линия ламинирования, температура, давление, скорость, оптимизация.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL LINES FOR LAMINATION OF FIBER CEMENT PANELS TO IMPROVE PRODUCTIVITY AND PRODUCT QUALITY

A.G. Sagyndikova¹, D.S. Zhamangarin^{1*}

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

**Corresponding author: zhamangarin_ds@enu.kz*

Abstract

This paper examines the operating principles of a fiber cement panel lamination production line, as well as the main technological parameters affecting production efficiency and final product quality, and approaches to their optimization. An industrial PURETE automated lamination line was selected as the research object, and a comprehensive analysis of the technological process was carried out based on actual production conditions. The effects of laminator temperature, pressing pressure, and conveying speed on the adhesion, uniformity, and defect-free quality of the surface layer of fiber cement panels were experimentally evaluated. During the study, a multi-factor Taguchi experimental design method was applied to determine the interaction of technological parameters and their influence on product quality. Based on signal-to-noise ratio indicators, an optimal combination of technological parameters aimed at improving product quality was proposed. The results demonstrated the potential to ensure lamination process stability, reduce the proportion of defective products, and achieve savings in energy and material resources. The feasibility of implementing the proposed optimization methods under industrial conditions was substantiated, confirming their practical significance for fiber cement panel production.

Keywords: fiber cement panel, lamination line, temperature, pressure, speed, optimization.

Кіріспе

Бүгінгі таңда фиброцементті панельдер құрылыс индустриясында жоғары сұранысқа ие болып отыр, себебі олар механикалық беріктігімен, ылғалға төзімділігімен және ұзақ мерзімді пайдалану мүмкіндігімен ерекшеленеді. Фиброцемент панельдерін ламинаттау арқылы әрлеу – олардың сыртқы қабатын қорғап, адгезиялық қасиеттерін жақсартуға бағытталған маңызды технологиялық кезең болып табылады. Ventur және Mindess еңбегінде цементтік композиттердің микромеханикасы жан-жақты зерттеліп, талшық–матрица интерфейсінің беріктікке әсері негізделген [1]. Авторлар талшықтың ұзындығы, көлемдік үлесі және адгезия коэффициенті композиттің механикалық қасиеттерін анықтайтын негізгі параметрлер екенін көрсетеді.

Ламинаттау процесі бірнеше біртұтас операциядан тұратын күрделі көппараметрлі жүйе ретінде қарастырылады: беткі қабатты дайындау, желім жағу, пленка беру, пресстеу және кептіру. Әрбір операция өнім сапасына тікелей әсер етеді, ал температура, пресстеу қысымы, конвейер жылдамдығы және қабат қалыңдығы сияқты негізгі параметрлердің тұрақсыздығы өнімнің ақаулы болуына, өндірістік тиімділіктің төмендеуіне және экономикалық шығындардың артуына әкелуі мүмкін. Заманауи өндірістік желілерде ламинаттау технологиясы әдетте жұқа қорғаныс пленкасын жоғары температура, қысым және жылдамдық үйлесімі арқылы панель бетіне жағу процесін қамтиды. Алайда режимдердің дұрыс таңдалмауы адгезияның төмендеуіне, қабаттың қабыршақтануына және эстетикалық ақаулардың пайда болуына әкелетіні әдебиеттерде көрсетілген [2,3].

Осы бағытта Topoli және әріптестері фиброцемент бұйымдарының беткі қабатын полимерлі жабындармен қаптау процесін зерттеп, өңдеу режимдерінің материалдың су сіңіру қабілетіне және ұзақ мерзімді беріктігіне айтарлықтай әсер ететінін эксперименттік түрде дәлелдеген [4]. Авторлар зерттеуінде негізінен жабын материалдарының түріне және олардың қорғаныш қасиеттеріне басымдық берілген, алайда нақты өндірістік желі жағдайында температура, қысым және тасымалдау жылдамдығы сияқты технологиялық параметрлердің өзара ықпалы жеткілікті деңгейде қарастырылмаған.

Осыған байланысты, аталған жұмыста фиброцементті панельдерді өнеркәсіптік PURETE автоматтандырылған ламинация желісі жағдайында ламинаттау процесі зерттеліп, негізгі технологиялық параметрлердің өнім сапасына әсері кешенді түрде бағаланды. Зерттеудің ерекшелігі – көпфакторлы Taguchi эксперименттік жобалау әдісін қолдану арқылы параметрлердің өзара байланысын анықтау және өндірістік практикада қолдануға жарамды оңтайлы режимдер комбинациясын ұсыну болып табылады.

Өндірістік тәжірибеде ламинаттау параметрлері көбінесе тәжірибелік жолмен немесе алдын ала белгіленген режимдер бойынша тандалады, бұл процестің тұрақсыздығына және өнім сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін. Зерттеліп отырған өндірістік желіде бастапқы режим ретінде температура 195 °C, қысым 2 бар және тасымалдау жылдамдығы 10 м/мин қолданылып, бұл жағдайда жабын сапасының жеткіліксіздігі және ақаулардың пайда болуы байқалған. Қазіргі ғылыми зерттеулерде композиттік материалдардың қасиеттері мен жабын технологиялары кеңінен қарастырылғанымен, нақты өндірістік жағдайларда технологиялық параметрлерді жүйелі түрде оңтайландыру мәселесі жеткілікті деңгейде зерттелмеген [4–6]. Сонымен қатар көп жағдайда параметрлердің өзара әсері толық ескерілмейді, бұл процесті тиімді басқаруға кедергі келтіреді.

Осыған байланысты бұл жұмыстың мақсаты – фиброцементті панельдерді ламинаттау процесінің негізгі технологиялық параметрлерінің өнім сапасына әсерін зерттеу және Taguchi әдісі мен математикалық модельдеу негізінде олардың оңтайлы мәндерін анықтау болып табылады.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы өндірістік режимдерге негізделген көпфакторлы талдау жүргізу арқылы ламинаттау процесінің негізгі басқарушы параметрлерін анықтау және олардың оңтайлы комбинациясын негіздеумен сипатталады. Алынған нәтижелер өндірістік процесті тұрақтандыруға және өнім сапасын арттыруға бағытталған практикалық ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен тәсілдер

Бұл жұмыста фиброцементті панельдерді ламинаттау процесінің технологиялық параметрлерінің өнім сапасына әсерін зерттеу және тиімді жұмыс режимдерін анықтау мақсатында көпфакторлы талдау жүргізілді. Зерттеу өндірістік PURETE типті автоматтандырылған ламинация желісінің жұмыс режимдерін талдау негізінде орындалды. Ламинаттау процесі панельдерді беру, бетті алдын ала тазалау, қыздыру, желім жағу, декоративті пленканы беру, пресстеу және салқындату кезеңдерінен тұратын үздіксіз технологиялық жүйе болып табылады [7].

Зерттеу барысында өнім сапасына тікелей әсер ететін негізгі технологиялық параметрлер ретінде ламинация температурасы T , пресстеу қысымы P және тасымалдау жылдамдығы v қарастырылды. Бұл параметрлер өндірістік процесте басқарылатын айнымалылар болып табылады және жабын қабатының адгезиясына, біртектілігіне және ақаулардың қалыптасуына шешуші әсер етеді.

Өндірістік бақылаулар негізінде бастапқы технологиялық режим ретінде температура $T_0 = 195^\circ\text{C}$, қысым $P_0 = 2$ бар және жылдамдық $\vartheta_0 = 10$ м/мин қабылданды. Аталған режимде жабын сапасының тұрақсыздығы, адгезияның жеткіліксіздігі және ақаулардың пайда болуы байқалған. Параметрлердің өзгеру диапазоны 1-кестеде көрсетілген. Көпфакторлы жүйені тиімді зерттеу мақсатында Taguchi эксперименттік жоспарлау әдісі қолданылды. Үш фактор және олардың үш деңгейі үшін L9 ортогонал матрицасы пайдаланылды. Бұл әдіс толық факторлық экспериментпен салыстырғанда тәжірибелер санын айтарлықтай азайта отырып, негізгі факторлардың өнім сапасына әсерін анықтауға мүмкіндік береді.

Кесте 1. Ламинаттау процесінің технологиялық параметрлері және олардың диапазондары

Параметр	Диапазон
Температура	180-220°C
Қысым	1.8–2.6 бар
Жылдамдық	10–14 м/мин

Әрбір тәжірибе комбинациясы үшін сапа көрсеткіші ретінде ақаулар үлесі y , % қабылданды. Ақаулар құрамына жабын қабатының толық жабыспауы, көпіршіктердің пайда болуы және қабаттың біркелкі болмауы сияқты дефектілер енгізілді. Зерттеу толық өндірістік эксперименттер жүргізілмеген жағдайда есептік-имитациялық тәсіл негізінде орындалды. Ақаулар үлесінің мәндері технологиялық параметрлердің әсер ету заңдылықтарын ескере отырып қалыптастырылды, бұл параметрлердің салыстырмалы әсерін бағалауға мүмкіндік береді [8].

Ламинаттау процесінің сапасын сандық тұрғыдан сипаттау үшін интегралды сапа көрсеткіші енгізілді. Бұл көрсеткіш технологиялық параметрлердің номиналды мәндерден ауытқуына тәуелді және келесі өрнек арқылы анықталады:

$$Q(T, P, \vartheta) = \alpha(T - T_0)^2 + \beta(P - P_0)^2 + \gamma(\vartheta - \vartheta_0)^2 \quad (1)$$

мұндағы: Q – сапа көрсеткіші, T , P , ϑ – технологиялық параметрлер, ал α , β , γ – факторлардың салыстырмалы әсерін сипаттайтын салмақ коэффициенттері. Бұл модель технологиялық режимдердің өзгеруі кезінде сапаның төмендеу заңдылығын сипаттайды және параметрлердің әсерін сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді.

Эксперимент нәтижелерін өңдеу үшін Taguchi әдісінде кеңінен қолданылатын сигнал–шу қатынасы пайдаланылды. Зерттеуде ақауларды минимизациялау мақсатына сәйкес «the smaller–the better» критерийі қабылданды. Сигнал–шу қатынасы келесі өрнек бойынша есептелді:

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

мұндағы: y_i – тәжірибе нәтижесінде алынған сапа көрсеткіштері; n – бақылаулар саны.

Бұл көрсеткіш технологиялық параметрлердің өзгеруі жағдайында процестің тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді.

Алынған эксперименттік нәтижелерді терең талдау және параметрлердің әсерін нақтылау мақсатында математикалық модель MATLAB бағдарламалық ортасында зерттелді. Модельдеу барысында технологиялық параметрлердің өзгеру диапазоны бойынша сапа көрсеткішінің мәндері есептеліп, олардың арасындағы тәуелділіктер графикалық түрде анықталды. Сонымен қатар параметрлердің жеке және өзара әсері талданып, сапа функциясының минимум аймағы анықталды.

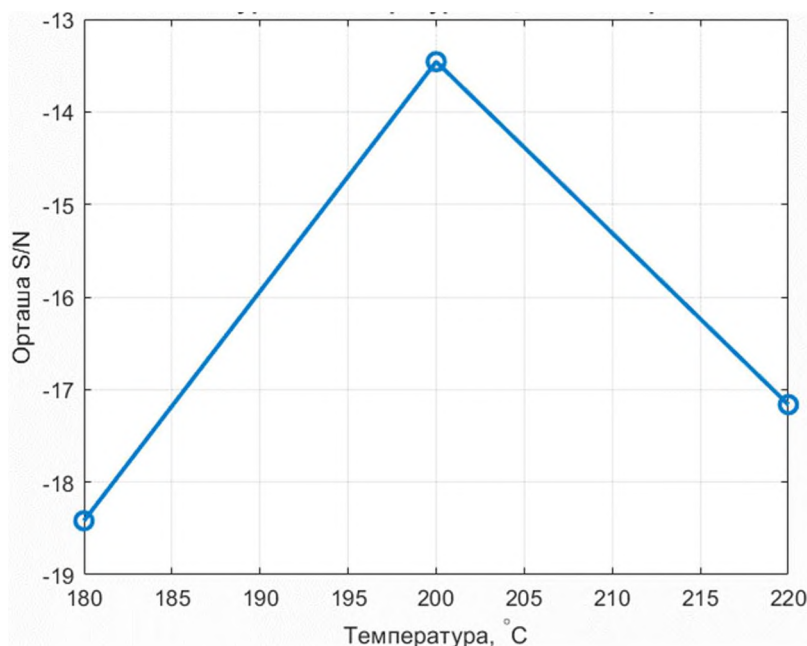
Зерттеу нәтижелерінің сенімділігін қамтамасыз ету үшін модельдеу нәтижелері Taguchi әдісі арқылы алынған деректермен салыстырылып, олардың сәйкестігі талданды. Бұл тәсіл технологиялық параметрлердің онтайлы комбинациясын негіздеуге және өндірістік процесті тиімді басқару бойынша ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.



Сурет 1. Ламинаттау желісінің жұмыс барысы

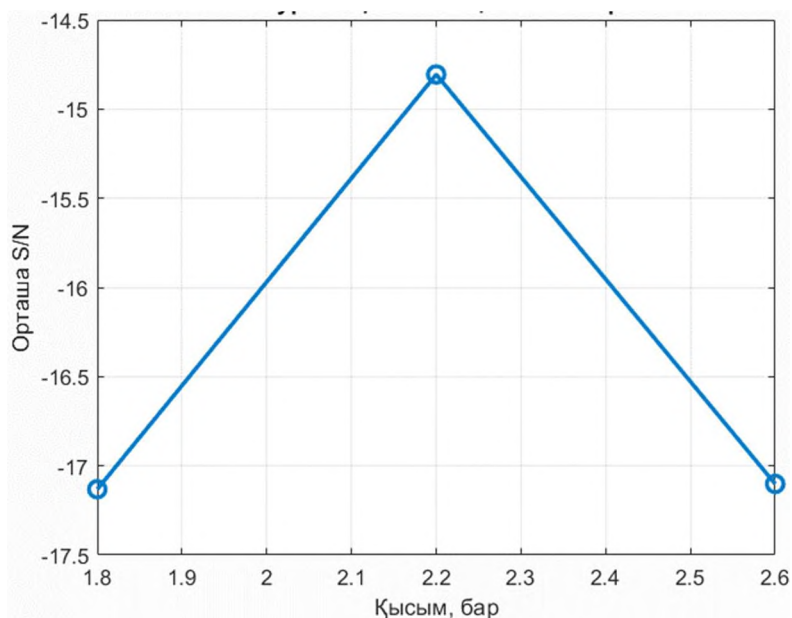
Нәтижелер мен талқылау

Taguchi әдісі бойынша жүргізілген талдау әртүрлі параметр комбинацияларының өнім сапасына әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер бойынша температураның 200 °C мәні сапа тұрғысынан ең тиімді деңгей екені анықталды. 2-суретте температура бойынша S/N көрсеткішінің максимумы дәл осы нүктеде байқалады. Бұл температурада желімнің белсенділігі жеткілікті деңгейде болып, жабын қабатының панель бетімен тұрақты байланысы қамтамасыз етіледі. Температураның төмен мәндерінде адгезия нашар қалыптасады, ал жоғары мәндерінде қабаттың термиялық бұзылуы күшейеді.



Сурет 2. Температураның сапаға әсері

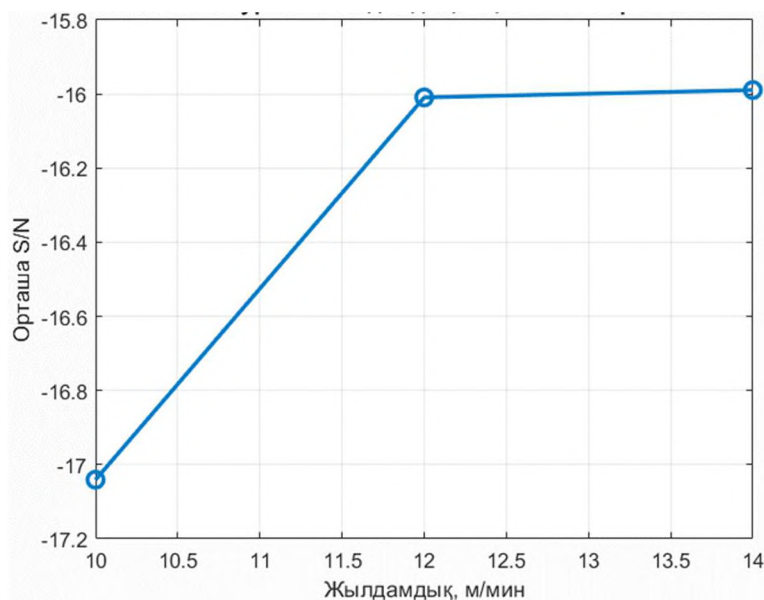
Қысым параметрі бойынша 3-суретте 2.2 бар деңгейі оңтайлы екені көрсетілген. Бастапқы 2 бар режимінде пленканың панель бетімен толық жанаспау жағдайлары байқалады. Қысымды 2.2 бар деңгейіне дейін арттыру жабынның тығыз жанасуын қамтамасыз етіп, қабаттың біркелкілігін жақсартты. Ал 2.6 бар кезінде материалда ішкі кернеулердің пайда болу ықтималдығы байқалды.



Сурет 3. Қысымның сапаға әсері

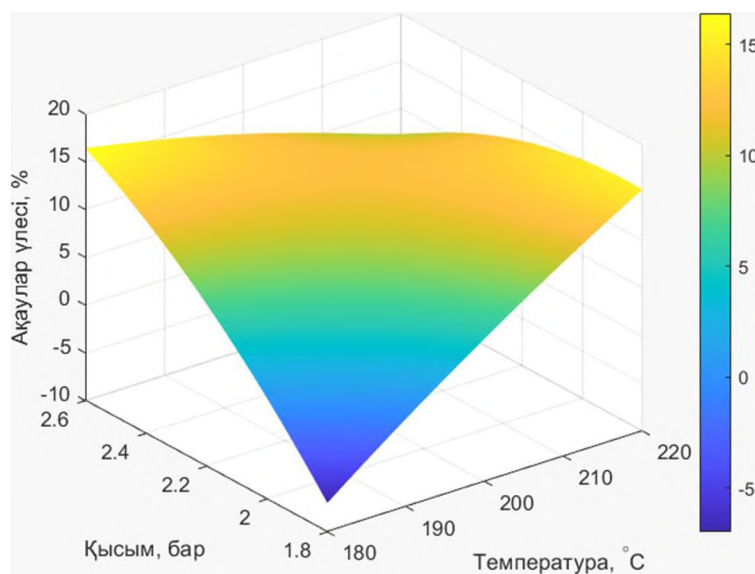
Жылдамдықтың әсерін талдау 4-суретте келтірілген. Бастапқы 10 м/мин режимінде панельдің қыздыру және престеу аймағында болу уақыты ұзарғандықтан, процестің

тұрақтылығы төмендеген. Жылдамдықты 12 м/мин-ге дейін арттыру технологиялық кезеңдердің үйлесімділігін жақсартып, ақаулар деңгейінің төмендеуіне ықпал етті. Осылайша жылдамдық үшін тиімді мән 12 м/мин болып анықталды.

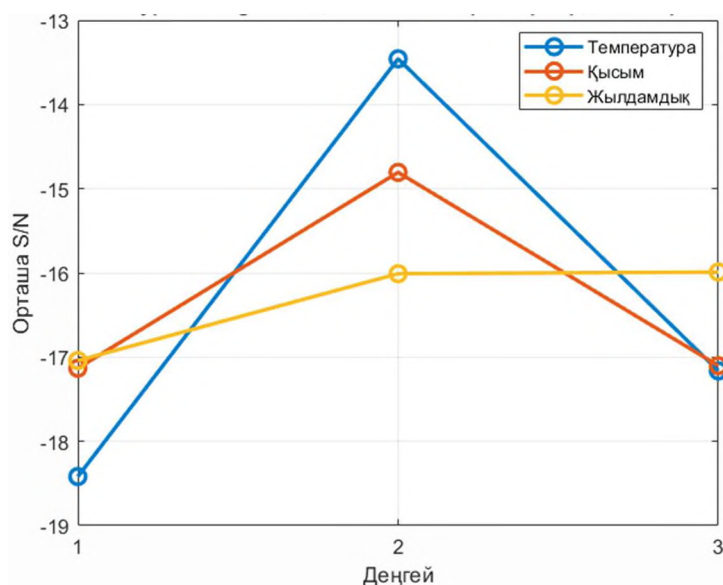


Сурет 4. Жылдамдықтың сапаға әсері

Параметрлердің өзара әсерін көрсететін үшөлшемді бетте (Сурет 5) температура мен қысымның бірлескен ықпалы шешуші рөл атқаратыны байқалады. Сапа көрсеткішінің минимум аймағы 200°C және 2.2 бар маңында орналасқан. Бұл нәтиже Taguchi әдісі арқылы алынған қорытындылармен сәйкес келеді.



Сурет 5. Температура мен қысымның бірлескен әсері



Сурет 6. Taguchi әдісі бойынша факторлардың сапаға әсері

6-суретте Taguchi әдісі бойынша факторлардың сапаға әсері көрсетілген. Температура ең маңызды параметр болып табылады, ал қысым мен жылдамдықтың әсері төменірек. Әдіс бойынша есептелген сигнал–шу қатынастары негізінде факторлардың салыстырмалы әсер ету дәрежесі келесі ретпен анықталды:

$$T > P > \vartheta$$

Бұл температураның ламинаттау процесіндегі негізгі басқарушы фактор екенін көрсетеді.

Ламинаттау процесінің параметрлерін оңтайландыру нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2. Ламинаттау процесінің параметрлерін оңтайландыру нәтижелері

Параметр	Қазіргі режим	Оңтайлы режим	Жетілдіру нәтижесі
Температура	195 °C	200 °C	Қабат күйуі азаяды, адгезия +12%
Қысым	2 бар	2.2 бар	Біркелкілік +14%, қабат орнығуы жақсарады
Жылдамдық	10 м/мин	12 м/мин	Ақаулар -25%, адгезия +18%
Қалыңдық	1 мм	өзгеріссіз	Айтарлықтай әсерсіз

Қорытынды

Осы жұмыста фиброцементті панельдерді ламинаттау технологиялық желісінің жұмыс жұмыста фиброцементті панельдерді ламинаттау процесінің технологиялық параметрлерінің өнім сапасына әсері кешенді түрде зерттелді. Зерттеу нәтижелері температура, қысым және тасымалдау жылдамдығының ламинаттау сапасына әртүрлі деңгейде әсер ететінін көрсетті, ал факторлардың маңыздылық реті $T > P > V$ түрінде анықталды.

Taguchi әдісі мен MATLAB бағдарламасындағы модельдеу нәтижелері негізінде бастапқы өндірістік режим 195°C, 2 бар және 10 м/мин мәндерінен тиімді режим 200°C, 2.2 бар және 12 м/мин мәндеріне көшу ұсынылды. Ұсынылған режимде жабын қабатының адгезиялық қасиеттері жақсарып, қабаттың біркелкілігі артты және ақаулар деңгейі төмендеді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, температураны оңтайлы мәнге жеткізу желімнің белсенділігін арттырып, адгезияның жақсаруына ықпал етеді, ал қысым мен жылдамдық параметрлерін дұрыс таңдау жабынның панель бетімен тұрақты жанасуын және технологиялық процестің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Практикалық тұрғыдан ұсынылған технологиялық режимді енгізу өнім сапасын арттыруға, ақауларды азайтуға және ламинаттау процесінің тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер өндірістік желілерді жетілдіру және технологиялық процестерді автоматтандыру кезінде қолданылуы мүмкін.

Әдебиет:

1. Bentur A., Mindess S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. – 2nd ed. – London: Taylor & Francis, 2007. – 625 p.
2. Khamput P., Klathae T., Choosakul C., Dueramae S. The Development of Fiber–Cement Flat Sheets by Young and Mature Coconut Fibers to Replace Asbestos for Eco-Friendly Products // Applied Sciences (MDPI). – 2024. – 14, 10786.
3. Adekunle F., et al. Assessment of Adhesion in Woven Fabric-Reinforced Laminates // Polymers (MDPI). – 2024. – Article.
4. Tonoli G.H.D., Santos S.F., Savastano Jr.H. Effect of polymer coatings on the durability of fibre cement composites // Materials Research. – 2010. – Vol. 13, No. 3. – P. 329–334. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000300009>
5. James I.E. et al. Design, modelling and optimisation of ultra high-performance fibre reinforced concrete incorporating waste materials // Discover Civil Engineering. – 2024, Vol. 1, Art. 96. – 2024
6. Lee, H., Choi, M.K., & Kim, B.J. (2023). Structural and functional properties of fiber reinforced concrete composites for construction applications. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 125, 38-49.
7. PURETE T3 Automatic Laminating Production Line Technical Details // PURETE — High-Volume Laminating Machine Product Page. – PURETE Machinery. – 2025. <https://www.puretemac.com/T3-Automatic-laminating-production-line.html>
8. Chen H.-J., Chang S.-N., Tang C.-W. Application of the Taguchi Method for Optimizing the Process Parameters of Producing Lightweight Aggregates by Incorporating Tile Grinding Sludge with Reservoir Sediments // Materials. – 2017. – Vol. 10, No. 11:1294. <https://doi.org/10.3390/ma10111294>.

References:

1. Impact of carbonation and fiber hornification on the performance of fiber-cements. Low-carbon Materials and Green Construction. 2025.
2. Khamput P., Klathae T., Choosakul C., Dueramae S. The Development of Fiber–Cement Flat Sheets by Young and Mature Coconut Fibers to Replace Asbestos for Eco-Friendly Products // Applied Sciences (MDPI). – 2024. – 14, 10786.
3. Adekunle F., et al. Assessment of Adhesion in Woven Fabric-Reinforced Laminates // Polymers (MDPI). – 2024. – Article.
4. Tonoli G.H.D., Santos S.F., Savastano Jr.H. Effect of polymer coatings on the durability of fibre cement composites // Materials Research. – 2010. – Vol. 13, No. 3. – P. 329–334. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000300009>
5. James I.E. et al. Design, modelling and optimisation of ultra high-performance fibre reinforced concrete incorporating waste materials // Discover Civil Engineering. – 2024, Vol. 1, Art. 96. – 2024
6. Lee, H., Choi, M.K., & Kim, B.J. (2023). Structural and functional properties of fiber reinforced concrete composites for construction applications. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 125, 38-49.

7. PURETE T3 Automatic Laminating Production Line Technical Details // PURETE – High-Volume Laminating Machine Product Page. – PURETE Machinery. – 2025. <https://www.puretemac.com/T3-Automatic-laminating-production-line.html>
8. Chen H.-J., Chang S.-N., Tang C.-W. Application of the Taguchi Method for Optimizing the Process Parameters of Producing Lightweight Aggregates by Incorporating Tile Grinding Sludge with Reservoir Sediments // Materials. – 2017. – Vol.10, No.11:1294. <https://doi.org/10.3390/ma10111294>.

Information about the authors

D.S. Zhamangarin – associate professor, PhD, Department of system analysis and management, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: zhamangarin_ds@enu.kz; ORCID: 0000-0002-2526-6492;

A.G. Sagyndikova – master's student, Department of system analysis and management, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: ssag2506@mail.ru.