

Рис. 7. Розподіл напружень в клейовому з'єднанні деревини по середині клейового шару за нагрівання протягом 100 с: а) у клейовому з'єднанні; б) графічний

Як видно з рис. 5-7, тривале нагрівання клейового з'єднання деревини протягом 100 с призводить до значної зміни температури як деревини, так і клею. В основному, різниця між температурою в середині зразка як у деревині, так і в клею не перевищує 0,01 °K і змінюється по периметру зразка. Аналогічна зміна температури у середині зразка відбувається у трьох площинах клейового з'єднання.

Пружно-деформаційний стан термопластичного клейового з'єднання деревини за нагрівання 100 с буде змінюватись практично однаково незалежно від площини, що досліджується.

Отже, можна зробити висновок, що із збільшенням тривалості нагрівання термопластичних клейових з'єднань деревини до 100 с, збільшується зона нагрівання як деревини, так і клею. Разом з тим змінюються і напруження, які виникають із висиханням деревини та пластичністю клейового шва.

Література

1. Фрейдин А.С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины / А.С. Фрейдин, К.Т. Вуба. – М.: Изд-во "Лесн. пром-сть", 1980. – 223 с.
2. Хрулев В.М. Долговечность клееной древесины / В.М. Хрулев. – М.: Изд-во "Лесн. пром-сть", 1971. – 160 с.
3. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А.С. Фрейдин. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М.: Изд-во "Химия", 1981. – 270 с.
4. Кшивецкий Б.Я. О долговечности клеевых соединений в деревообработке / Б.В. Прокопович, О.П. Гуцало // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. – Брянск (РФ) : Изд-во БГИТА. – 2001. – Вып. 4. – С. 61-64.
5. Кшивецкий Б.Я. Моделирование напряжений у термопластичных клейовых з'єднань деревини / Б.Я. Кшивецкий, М.Г. Чаусов // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во НЛТУ України. – 2012. – Вип. 38. – С. 65-69.
6. Кшивецкий Б.Я. Дослідження довговічності з'єднань твердолистяних порід деревини клеями на основі полівінілацетату / Б.Я. Кшивецкий // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.7. – С. 99-103.
7. Кшивецкий Б.Я. Прогнозування довговічності термопластичних клейових з'єднань деревини за допомогою математичної моделі / Б.Я. Кшивецкий // Проблеми трибології: міжнародний науковий журнал. – Хмельницький НУ. – 2012. – № 4. – С. 38-42.
8. Морозов Е.М. Метод конечных элементов в механике разрушения / Е.М. Морозов. – М.: Изд-во "Наука", 1980. – 256 с.
9. Алямовский А.А. Компьютерное моделирование в инженерной практики / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: Изд-во "БХВ-Петербург", 2005. – 800 с.

Кшивецкий Б.Я., Солонинка В.Р. Имитационное моделирование термопластических клеевых соединений древесины в CAD/CAE системах

Приведены результаты имитационного моделирования термопластических поливинилацетатных клеевых соединений древесины с использованием CAD/CAE систем. Разработан алгоритм имитационного моделирования в CAD/CAE системах напряженно-деформационного состояния термопластических клеевых соединений древесины в зависимости от изменения температуры и влажности. Дополнена библиотечная база данных CAD/CAE систем физико-механическими и физико-химическими характеристиками различных пород древесины и клеевых материалов на термопластической основе. Разработанный алгоритм имитационного моделирования и сформированная база данных позволяют моделировать изменение влажности, температуры и напряженно-деформационного состояния в любой точке термопластического клеевого соединения древесины в зависимости от изменения влажности и температуры.

Ключевые слова: моделирование, алгоритм, прочность, долговечность, напряженно-деформационное состояние, клей, древесина, влажность, температура, клеевые соединения, прогнозирование.

Kshyvetskyy B.Ya., Solonynka V.R. Simulation Modeling of Thermoplastic Adhesive Wood Joints Using CAD/CAE Systems

Some results of simulation modeling of thermoplastic polyvinyl acetate adhesive wood joints using CAD/CAE systems are presented. Based on CAD/CAE systems, an algorithm has been developed for simulation modeling of stress-strain state in thermoplastic adhesive wood joints depending on ambient temperature and humidity. The library database of CAD/CAE systems was supplemented by physical-and-mechanical and physical-and-chemical characteristics of various wood species and thermoplastic glue mixes. The developed algorithm allows for simulating changes in moisture content, temperature, and stress-strain state at any point of the thermoplastic adhesive wood joints depending on varying ambient temperature and humidity.

Keywords: modeling, algorithm, strength, durability, stress-strain state, adhesive, wood, humidity, adhesive joint, temperature, prediction.

УДК 674.002.5:620.19

Аспір. В.В. Войтович;

проф. В.В. Шостак, д-р техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

СТРУКТУРА РЕМОНТНОГО ЦИКЛУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТРІЧКОПИЛКОВОГО ВЕРСТАТА

В основі проблеми керування технічним станом верстатів під час їх експлуатації лежить розроблення обґрунтованої структури ремонтного циклу. Описано результати моделювання за методом Монте-Карло зміни технічного стану верстата як складної ремонтної системи. Визначено рівняння регресії параметра потоку відмов верстата як функції від часу оперативної роботи верстата. Обґрунтовано структуру ремонтного циклу та його параметри. Рекомендовано тривалість міжоглядових та міжремонтних періодів і тривалість ремонтного циклу.

Ключові слова: стрічкопилковий верстат, структура ремонтного циклу, параметр потоку відмов, модулювання, ремонт, оптимізація.

Постановка проблеми. Підвищення надійності вітчизняного деревообробного обладнання є ключовою проблемою з погляду розвитку економічного потенціалу і переходу до нових форм господарського розрахунку на деревообробних підприємствах. Керування технічним станом верстатів під час експлуатації визначається передусім стратегією технічного обслуговування і ремонту, побудованою на науково обґрунтованій структурі ремонтного циклу. Насамперед це стосується нових типів верстатів, що почали випускати в Україні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У дослідженнях В.А. Худякова, О.С. Феоктистова, Є.В. Трухіна, Н.Ю. Мікловцка, І.Т. Ребезнюка, Б.А. Веселкової, М.І. Пилипчук, С.П. Степанчука та ін. приділено увагу енергетичним показникам процесу різання та підготовленню інструменту на стрічкопилкових верстатах.

Проблему керування технічним станом горизонтальних стрічкопилкових верстатів з вузькою стрічкою частково досліджено у наших роботах [1-4]. Зібрані статистичні дані з підприємств і проведені експериментальні дослідження дають змогу в повною мірою обґрунтувати для цих верстатів структуру ремонтного циклу та його параметри.

Мета роботи. Визначити оптимальну тривалість міжремонтного періоду і тривалість ремонтного циклу верстата експериментальним шляхом не вдається. Мета нашої роботи – визначити параметр потоку відмов горизонтального стрічкопилкового верстата за допомогою методу статистичного моделювання (Монте-Карло); визначити оптимальну тривалість міжремонтного періоду та обґрунтувати раціональну структуру ремонтного циклу цього верстата.

Основний матеріал. За результатами наших досліджень [1-4] і статистичних даних з піддослідних підприємств встановлено показники довговічності швидкозношуваних деталей горизонтальних стрікопилкових верстатів (табл. 1), які розподілено на дев'ять груп за їх ресурсом.

Табл. 1. Значення ресурсу деталей горизонтального стрікопилкового верстата

Назва деталей, вузлів, агрегатів	Кількість	Середній ресурс, год	Середнє квадрат. відхил., год	Коефіцієнт варіації	Закон розподілу	Група
1. Ходове колесо (Ст 3)	4	1004	350,5	0,3491	Норм.	I
2. Напрямники пилки	2	950	80	0,0842	Норм.	I
3. Клинопасова передача	1	1977	46,5	0,0235	Норм.	II
4. Ланцюги	2	2200	100,1	0,0455	Норм.	II
5. Ходовий гвинт	1	3000	250	0,0833	Норм.	III
6. Електроапарати	8	4100	4100	1,00	Експон.	IV
7. Напрямник супорта	2	5577	836,5	0,1499	Норм.	V
8. Муфта	1	6000	550	0,0917	Норм.	VI
9. Вісь шківів	2	6358	846,2	0,1331	Логарифм.	VI
10. Електродвигуни	3	7399	828,7	0,112	Норм.	VII
11. Зміцнений напрямник	2	8366	1255	0,15	Норм.	VIII
12. Вал шківів	2	20000	2661	0,133	Логарифм.	IX
13. Вальниця А шківів	2	10086,4	6841,9	0,678	Вейбулла	IX
14. Вальниця В шківів	2	18711,1	12692,0	0,678	Вейбулла	IX
15. Ходове колесо (Сталь 45)	4	1670,7	233,8	0,14	Норм.	II

Для моделювання роботи верстата склали прикладну програму "MODGSP" в якій за методом статистичного моделювання (Монте-Карло) розіграли роботу верстата як системи зі змішаним з'єднанням елементів. За результатами моделювання отримали потік напрацювань на відмову для 10 верстатів, які розділили на дев'ять інтервалів (табл. 2). Параметр потоку відмов на кожному інтервалі визначали

$$\omega(t_i) = n_i / \sum t_i, \tag{1}$$

де: n_i – кількість відмов на інтервалі; $\sum t_i$ – сума напрацювань на інтервалі.

Табл. 2. Визначення параметра потоку відмов верстата

Інтервал	Час оперативної роботи, год	Сума напрацювань, год	Кількість відмов	Параметр потоку відмов	Середнє напрацювання
1	587,18	11743,7	20	0,00170305	587,18
2	990,00	8057,2	20	0,00248226	408,86
3	1354,57	7286,7	20	0,00274474	364,33
4	1840,03	9713,0	20	0,00205909	485,65
5	2083,65	4872,4	20	0,00410473	243,62
6	2470,55	7738,2	20	0,00258459	386,91
7	2818,61	6961,0	20	0,00287314	348,05
8	3018,29	3993,7	20	0,00500789	199,68
9	3180,84	3251,0	20	0,00615201	162,55

Після оброблення даних табл. 2 за методом найменших квадратів отримали залежність параметра потоку відмов горизонтального стрічкопилкового верстата від часу оперативної роботи у вигляді полінома третього степеня

$$\omega(t) = -0,0002 + 6 \cdot 10^{-6} \cdot t - 3,1 \cdot 10^{-9} \cdot t^2 + 6 \cdot 10^{-13} \cdot t^3. \tag{2}$$

Коефіцієнт достовірності цього рівняння регресії $R^2=0,8442$.

Залежність параметра потоку відмов (рис. 1) показує, що з часом роботи верстата $\omega(t)$ спочатку плавно зростає, потім стабілізується на певному рівні і після досягнення часу оперативної роботи більше 2500 год починає різко зростати. Причиною такого зростання параметра потоку відмов є те, що в цей час вичерпується ресурс більшості деталей III і IV груп.

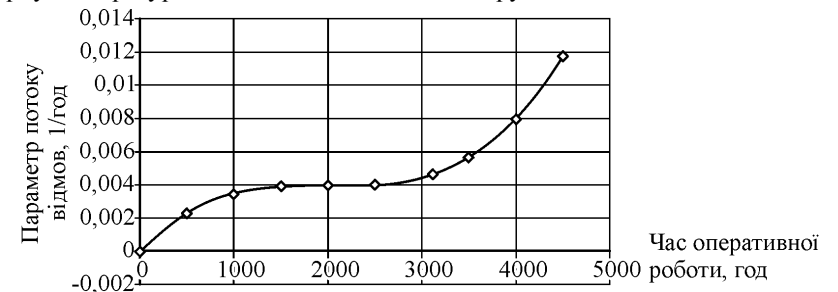


Рис. 1. Залежність параметра потоку відмов стрічкопилкового верстата від часу оперативної роботи

Використовуючи дані про середній ресурс швидкозношуваних деталей, можна запропонувати кілька структур ремонтного циклу. Найпоширенішими для деревообробних верстатів є два варіанти структур ремонтного циклу: дев'яти- і шестиперіодної тривидових структур. Критерієм для вибору раціональної структури ремонтного циклу слугує мінімум трудовитрат на виконання планових ремонтних заходів, що припадають на одну годину оперативної роботи верстата за тривалість ремонтного циклу.

Питомі трудовитрати визначали за формулами:

$$\tau_a = \frac{V_{u(9)}}{T_u}; \quad \tau_b = \frac{V_{u(6)}}{T_u}, \quad (3)$$

де: $V_{u(9)}$ і $V_{u(6)}$ – сумарні трудовитрати на проведення планових ремонтних заходів відповідно для дев'яти- і шестиперіодної структури; T_u – тривалість ремонтного циклу.

Після розрахунків отримали величину $V_{u(9)} = 690,33$ люд./год, $V_{u(6)} = 531,64$ люд./год. Тривалість ремонтного циклу $T_u = 15680$ год.

$$\tau_a = 0,044026 > \tau_b = 0,0339.$$

Тому для горизонтального стрікопилкового верстата раціональною за критерієм питомих трудовитрат є шестиперіодна тривидова структура ремонтного циклу у вигляді: 12 – оглядів; 4 – поточних ремонтів; 1 – середній і 1 – капітальний ремонт. Виходячи із завдань ремонтної служби та ефективності роботи підприємства в умовах ринкової економіки, для вибору оптимальної тривалості міжремонтного періоду доцільно вибрати критерій суми простоїв верстата у планових і непланових ремонтах. Функцію мети за цим критерієм запишемо у вигляді

$$\Pi(t) = \left(\frac{T_u}{t} - 1\right) \cdot T_n + T_{кр} + T_{орг} + \frac{T_u \cdot T_6}{t} \cdot \int_0^t \omega(t) \cdot dt \rightarrow \min, \quad (4)$$

де: T_n – середня тривалість простою в оглядах, поточних і середніх ремонтах; $T_{кр}$ – тривалість простою у капітальному ремонті; $T_{орг}$ – простої з організаційних причин; T_6 – середня тривалість простою у неплановому ремонті (відновлені); $\int_0^t \omega(t) \cdot dt = \Omega(t)$ – функція відновлення, чисельно дорівнює кількості відмов за тривалість міжремонтного періоду t .

Для визначення оптимальної тривалості міжремонтного періоду за критерієм сумарних простоїв у планових і непланових ремонтах склали прикладну програму "ОРТТMRP". У цій програмі для знаходження мінімуму функції мети (4) використали метод ітерації. Результати розрахунків показують, що зі збільшенням тривалості міжремонтного періоду простої у планових ремонтах Пп зменшуються за гіперболічною залежністю (рис. 2), а простої у непланових ремонтах Пн зростають за кривою полінома третього степеня.

Простої з організаційних причин Порг є постійною величиною, бо вони визначаються у відсотках від тривалості міжремонтного періоду з постійною величиною параметра потоку відмов.

Оптимальне значення міжремонтного періоду для не зміцнених напрямників пилкового супорта становить 2494 год, а мінімальне значення сумарних простоїв при цьому дорівнює 356 год. Для зміцнених напрямників пилкового супорта [3] оптимальне значення міжремонтного періоду становить 3122 год, а сумарні простої при цьому становлять – 304 год. Якщо тривалість міжремонтного

періоду збільшується, то це означає, що пропорційно зростає тривалість ремонтного циклу від 15680 год до $3122 \times 6 = 18732$ год, тобто зростає на 19 %.

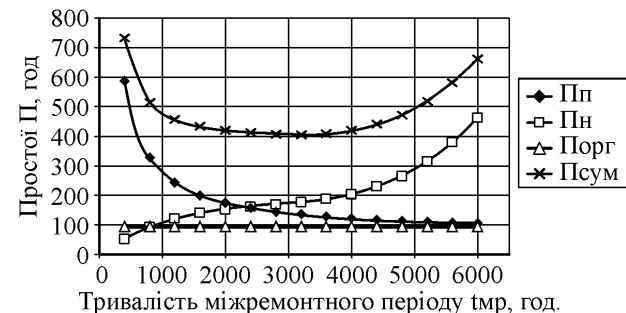


Рис. 2. Залежність простоїв від тривалості міжремонтного періоду

Розрахунок економічної ефективності від впровадження на підприємстві системи планово-запобіжних ремонтів за технічним станом обладнання з оптимальною тривалістю міжремонтних періодів, збільшеною тривалістю ремонтного циклу за рахунок зміцнення напрямників пилкового супорта показує, що вкладені кошти окупляться за один рік. Внаслідок зменшення простоїв верстата збільшується випуск готової продукції і прибуток підприємства.

Висновки. Розроблено імітаційну модель роботи верстата, яка дає змогу за даними щодо ресурсу його деталей і вузлів визначити параметр потоку відмов верстата як ремонтваної системи, ще на стадії його проектування. Встановлено, що для обґрунтування раціональної структури ремонтного циклу необхідно користуватися критерієм питомих трудовитрат на планові ремонтні заходи. Обґрунтовано раціональну структуру ремонтного циклу. Запропоновано шестиперіодну тривидову структуру, яка охоплює: 12 – оглядів; 4 – поточних; 1 – середній; 1 – капітальний ремонт. Оптимальна тривалість міжремонтного періоду для не зміцнених напрямників пилкового супорта становить 2494 год, а для зміцнених – 3122 год. Тривалість ремонтного циклу – 15680 год і 18732 год відповідно.

Впровадження системи планово-запобіжних ремонтів за технічним станом обладнання економічно обґрунтовано та окупно.

Література

- Шостак В.В. Залежність надійності стрікопилкових верстатів від їх конструкційних особливостей / В.В. Шостак, В.В. Войтович // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.12. – С. 103-107.
- Войтович В.В. Зміцнення високошвидкісним тертям напрямників стрікопилкового верстата / В.В. Войтович, В.В. Шостак // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.11. – С. 152-158.
- Войтович В.В. Визначення ресурсу вала та осі горизонтального стрікопилкового верстата / В.В. Войтович, В.В. Шостак // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.4. – С. 231-239.
- Войтович В.В. Зношування циліндричних напрямників стрікопилкового верстата / В.В. Войтович, В.В. Шостак // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.1. – С. 166-174.

Войтович В.В., Шостак В.В. Структура ремонтного цикла горизонтального ленточнопильного станка

В основе проблемы управления техническим состоянием станков при эксплуатации лежит разработка научно обоснованной структуры ремонтного цикла. Описаны результаты моделирования методом Монте-Карло изменения технического состояния станка как сложной ремонтируемой системы. Определено уравнение регрессии параметра потока отказов станка как функции от времени его оперативной работы. Обоснована структура ремонтного цикла и его параметры. Рекомендовано продолжительность межосмотровых, межремонтных периодов и продолжительность ремонтного цикла.

Ключевые слова: ленточнопильный станок, структура ремонтного цикла, параметр потока отказов, моделирование, ремонт, оптимизация.

Vojtovich V.V., Shostak V.V. The Structure of the Repair Cycle of Horizontal Band Saw

The basis of the problem of controlling machine-tools technical state during their exploitation is the development of the scientifically confirmed structure of repair cycle. The results of design using Monte Carlo method of change of the technical state of machine-tool are described as a difficult system. The equation of regression parameter of stream of machine-tool refusals as functions of time of machine-tool functioning is proposed. The structure of repair cycle and its parameters are justified. Optimum duration of periods between reviews and repairs and rational duration of repair cycle is recommended.

Keywords: the band saw, machine-tool, repair cycle structure, parameter of stream of refusals, design, repair, optimization.

УДК 621.643

Проф. Л.Я. Побережний, д-р техн. наук;
асист. А.В. Грицанчук, аспір.; викл., полковник В.В. Грицанчук –
Івано-Франківський НТУ нафти і газу

ВПЛИВ ГАЗОГІДРАТІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ СТАЛІ ТРУБОПРОВОДУ

Однією з найменш вивченою корозією є корозія під дією газових гідратів. Ця корозія належить до точкової корозії, яка часто спостерігається як у нейтральному, так і в кислому середовищах. Її дуже складно виявити. Проаналізовано сортамент трубних сталей і відібрано для експериментальних досліджень впливу газових гідратів на внутрішню поверхню зразки, вирізані з трубопроводу сталі 20. Встановлено реальні фізико-механічні характеристики трубної сталі і показано, що вони за деякими показниками на 20-30 % нижчі за подані в сертифікаті, що зумовлено впливом способу виробництва безшовних металевих труб.

Ключові слова: внутрішньотрубна корозія, експлуатаційна деградація, корозійна втома, залишковий ресурс трубопроводу.

Вступ. Значна частка у забрудненні довкілля та негативному впливі на екологічну ситуацію належить світовому паливно-енергетичному комплексу, і його частині – паливно-енергетичному комплексу України. Однією з багатьох причин погіршення екологічної ситуації є відмови та аварії нафто- та газопроводів. У зв'язку зі старінням газотранспортної мережі та послабленням державного контролю за її безпекою останніми роками, на жаль, спостерігається збільшення кількості аварій на газопроводах України (розрив труб через просідання ґрунту; утворення корозійних щілин; деформація трубопроводів, спричинена зсувами, повеннями тощо).

Одним із шляхів підвищення екологічної безпеки газотранспортної системи України є комплексний захист газопроводів від корозії, розроблення якого неможливе без докладного вивчення механізмів і встановлення основних закономірностей корозійного та корозійно-механічного руйнування. Одним з негативних чинників газонафто-транспортної системи є внутрішньотрубна корозія промислових трубопроводів.

Корозія є причиною майже 50 % всіх аварій трубопроводів. Корозія – це хімічна чи електрохімічна реакція між матеріалом, зазвичай металом, та його навколишнім середовищем. Корозія спричиняє погіршення характеристик металу. Оскільки газотранспортна система України, як об'єкт керування, дуже складна, важливою є взаємодія диспетчерських служб зарубіжних газотранспортних компаній у питаннях оптимізації роботи транзитних газопроводів та підвищення їх надійності.

Одним із шляхів підвищення екологічної безпеки газотранспортної системи України є комплексний захист газопроводів від корозії. Корозія внутрішньої стінки газопроводу означає присутність значних парціальних тисків CO₂ та/чи H₂S [1]. Це відбувається тоді, коли стінка труби зазнає впливу води та забруднювачів у газі, таких як: кисень (O₂), дігидросульфід (H₂S), двоокис вуглецю (CO₂) чи хлорид-іон (Cl⁻). З погляду вагового відсотка чи масової частки, O₂ розчиняється більше відносно звичайної сталі, порівняно з CO₂ чи H₂S. Хоча ймовірність присутності значних концентрацій O₂ всередині газопостачального трубопроводу є досить низькою, навіть маленький парціальний тиск O₂ може стати причиною високої швидкості розвитку корозії у сталевих трубах.

Корозія зазвичай класифікують за трьома основними категоріями. До першої групи відносять ті, які легко ідентифікуються під час візуальної перевірки (рівномірна корозія, локалізована корозія та електрохімічна корозія). До другої групи належать ті види корозії, для ідентифікації яких потрібне подальше вивчення (ерозійна корозія, кавітаційна корозія, міжкристалічна корозія та безсплавна корозія). До третьої групи належать корозія з розтріскуванням та корозія, що виникає під дією високої температури.

Однією з найменш досліджених є корозія під дією газових гідратів. Газові гідрати відносять до нестехіометричних клатратних сполук, в яких один компонент ("господар" – рідина) утворює структуру, що містить у своїх порожнинах інший компонент ("гість" – газ) [2]. Здатність утворювати гідрати мають багато газів, леткі органічні рідини, а також їх подвійні і багатокомпонентні суміші. Газові гідрати утворюються за високого тиску і низької температури внаслідок фізичного поєднання молекул води і деяких малих молекул рідких вуглеводнів, таких як метан, етан, пропан та мають льодоподібну форму з кристалічною ґраткою, характерною для твердих речовин.

Утворення гідратів починається з маленьких частинок, які скупчуються та утворюють більші шматки [3], які з часом твердіють у лініях транспортування, що спричинить часткову або повну закупорку внутрішньої частини газопроводу, і якщо швидко її не видалити, то це приведе до зростання тиску всередині труби і до можливої аварії. Гідрати можуть ініціювати певні види внутрішньої