



In the result of the multiple-factor experiment on the determination of strength characteristics of sticks of the system Cold-box-amin there is justified the possibility of reducing of negative influence of several factors of the process due to changing of the controlled parameters of the process.

Д. М. КУКУЙ, БНТУ, Д. А. КУДИН, НП РУП «БелНИИлит»

УДК 621.74

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕРЖНЕЙ СИСТЕМЫ КОЛД-БОКС-АМИН

Существующая теория формирования прочности стержней, изготавливаемых способом Колд-бокс-амин, определяет состояние структуры отвержденного связующего как одного из самых важных факторов, влияющих на прочность стержней. Прочность и характер нарушения целостности системы наполнитель – связующее стержней, изготовленных на основе газоотверждаемого полиуретанового связующего, в первую очередь зависят от качественных и количественных характеристик шивки глобул полиуретана (показатели микроструктуры связующего) и наличия объема подкорковых зон остаточного растворителя связующего (показатель макроструктуры).

В результате проведения лабораторных испытаний стандартных образцов стержней (испытание прочности на изгиб, ГОСТ 23409.7-78) и экспериментов с пленками полиуретанового покрытия были получены данные о влиянии отдельных факторов, характеризующих качественные показатели стержневой смеси, условия ее хранения, параметры изготовления (надува и продувки) стержней и условия их хранения и обработки, на процесс формирования прочности стержней системы Колд-бокс-амин. В ходе экспериментов определяли величину зависимости прочности стержней от отдельных единичных факторов и анализировали информацию о влиянии этих факторов на структурное состояние стержневого связующего. Анализ результатов позволил выявить «благоприятные» и «вредные» факторы, влияющие на прочность стержней, а также степень их влияния.

Особенностью технологии изготовления стержней способом Колд-бокс-амин является наличие значительного количества единичных факторов, характеризующих качество исходной стержневой смеси и технологические параметры изготовления и обработки стержней, способных оказать существенное влияние на структуру отвержденного связующего, а следовательно, и на прочностные показатели стержней. Как правило, анализ закономерности влияния единичных технологических факторов на прочностные характеристики стерж-

ней позволяет с высокой степенью достоверности определить оптимальные значения данных факторов. Например, установлено, что прочность стержней повышается с уменьшением содержания влаги в песке, с увеличением содержания связующего и длительности продувки. В ряде случаев найдены оптимальные области значений единичных факторов, таких, как время перемешивания стержневой смеси и температура песка. Полученные результаты и их анализ являются основой для разработки требований и рекомендаций по использованию технологии Колд-бокс-амин.

Однако при эксплуатации процесса в производственных условиях отечественных литейных цехов в ряде случаев не всегда возможно проведение мероприятий по изготовлению и обработке стержней при оптимальных значениях всех технологических факторов. Сопутствуют этому сезонные колебания температур и влажности, особенности изготовления и обработки конкретных стержней, специфика принятой организации технологического процесса и используемого оборудования. Закономерности, установленные при исследовании процесса формирования прочности стержней системы Колд-бокс-амин, позволили выявить основные факторы, обеспечивающие уменьшение их негативного воздействия за счет варьирования другими параметрами. Определение комплексного влияния различных единичных факторов процесса изготовления и обработки стержней путем проведения различных однофакторных экспериментов малоэффективно и не подходит для решения поставленной задачи.

Для комплексной оценки влияния единичных показателей технологии Колд-бокс-амин в условиях многофакторного эксперимента был частично применен метод планирования эксперимента Бокса–Уилсона [1]. Предложенная в качестве основной многофакторная модель формирования прочности стержней содержит около 50 различных (качественных и количественных) значимых факторов технологии изготовления и обработки стержней системы Колд-бокс-амин. Данные фак-

торы являются показателями всей технологической цепочки изготовления и обработки стержней и характеризуют качественные и количественные показатели исходных компонентов, стержневой смеси и условий ее приготовления и хранения, параметры надува и продувки стержней, а также условия их дальнейшей обработки и хранения. В условиях большого числа факторов, влияющих на прочность стержней, для уменьшения количества проводимых экспериментов основной параметр оптимизации (реальная прочность на изгиб отвержденного стержня в момент испытания) был представлен в виде комбинации промежуточных параметров оптимизации, обусловленных технологическими особенностями процесса изготовления стержней методом Колд-бокс-амин (рис. 1). Промежуточные параметры оптимизации характеризуют качественные показатели отдельных этапов (стадий) изготовления стержней (например, качество стержневой смеси, качество надува, качество продувки). Необходимо отметить, что решаемая в конкретном случае задача оптимизации не является классической задачей определения единственного условия достижения некоей экстремально большой прочности литейного стержня. Анализ результатов однофакторных экспериментов (как априорных данных) позволяет предполагать, что условием получения конечной прочности, лежащей вблизи области оптимума, является выбор оптимальных значений единичных факторов, установленных в предыдущих сериях экспериментов. Цель данного исследования – во-первых, задача оптимизации конечной прочности при задаваемых заведомо неоптимальных значениях отдельных единичных факторов, а, во-вторых, решение задач интерполяции, позволяющих прогнозировать степень влияния на конечную прочность стержня отдельных факторов.

Примером возможности использования предлагаемого способа контроля свойств стержней с целью оптимизации их прочности является оценка комплексного влияния единичных факторов на содержание остаточного растворителя в подкорковой зоне отвержденного связующего. Согласно ранее проведенным исследованиям, содержание остаточного растворителя, как показателя макроструктуры связующего, служит важным показателем формирования прочности стержня и определяет не только начальную прочность стержня, но и степень его влагостойкости при окраске и хранении, динамику изменения прочности при хранении и во многих случаях предопределяет максимальную прочность стержня. Проведенный анализ априорной информации (результатов однофакторных экспериментов с пленками полиуретанового покрытия и образцами реальных стержней) позволил выделить следующие единичные факторы, способные оказать влияние на содержание остаточного растворителя связующего:

характеристики качественного состава смеси:

- температура компонентов смеси (в том числе и песка) (x3);
- процентное количество компонентов A+B связующего (x7);
- количество растворителя связующего (состав связующего) (x10);
- продолжительность перемешивания (x4);
- технические характеристики смесителя (скорость перемешивания и интенсивность аэрации при перемешивании) (x13);

условия хранения готовой смеси:

- продолжительность хранения смеси (x16);
- температура хранения смеси (x17);
- открытость смеси при хранении (x18);

характеристики надува стержня:

- давление надува (x21);
- продолжительность надува (x22);
- интенсивность аэрации смеси при надуве (кратность прохождения сжатого воздуха при надуве через слой смеси в пескодувном резервуаре) (x26);

характеристики процесса продувки стержня:

- продолжительность газации (x32);
- давление газации (x33);
- температура газации (x37);
- продолжительность вторичной продувки (x39);

- давление вторичной продувки (x40);
- температура вторичной продувки (x41);

условия хранения готовых стержней:

- продолжительность хранения (x44);
- температура хранения (x45).

Согласно ограничениям, накладываемым условиями проведения лабораторного эксперимента в качестве значимых факторов, характеризующих количество остаточного растворителя связующего в стержне, были выбраны факторы (x3, x7, x10, x4, x16, x17, x18, x44, x45). Оставшиеся («стабильные») факторы (x13, x21, x22, x26, x32, x33, x37, x39, x40, x41) характеризуют главным образом конструктивные особенности конкретного применяемого оборудования и технологические параметры надува и продувки, определяемые главным образом геометрическими особенностями каждого конкретного стержня и используемой для его производства стержневой оснастки. В данной серии экспериментов эти факторы выступали в виде постоянных и поэтому не учитываемых величин, характеризующих используемое лабораторное оборудование (смеситель С1С-050, лабораторный прибор для изготовления образцов стержней мод. 4740, лабораторный газогенератор мод. 1710; все оборудование производства НП РУП «Институт БелНИИлит») и особенности изготовления (надува и продувки) экспериментальных образцов стержней-«балочек» (ГОСТ 23409.7-78).

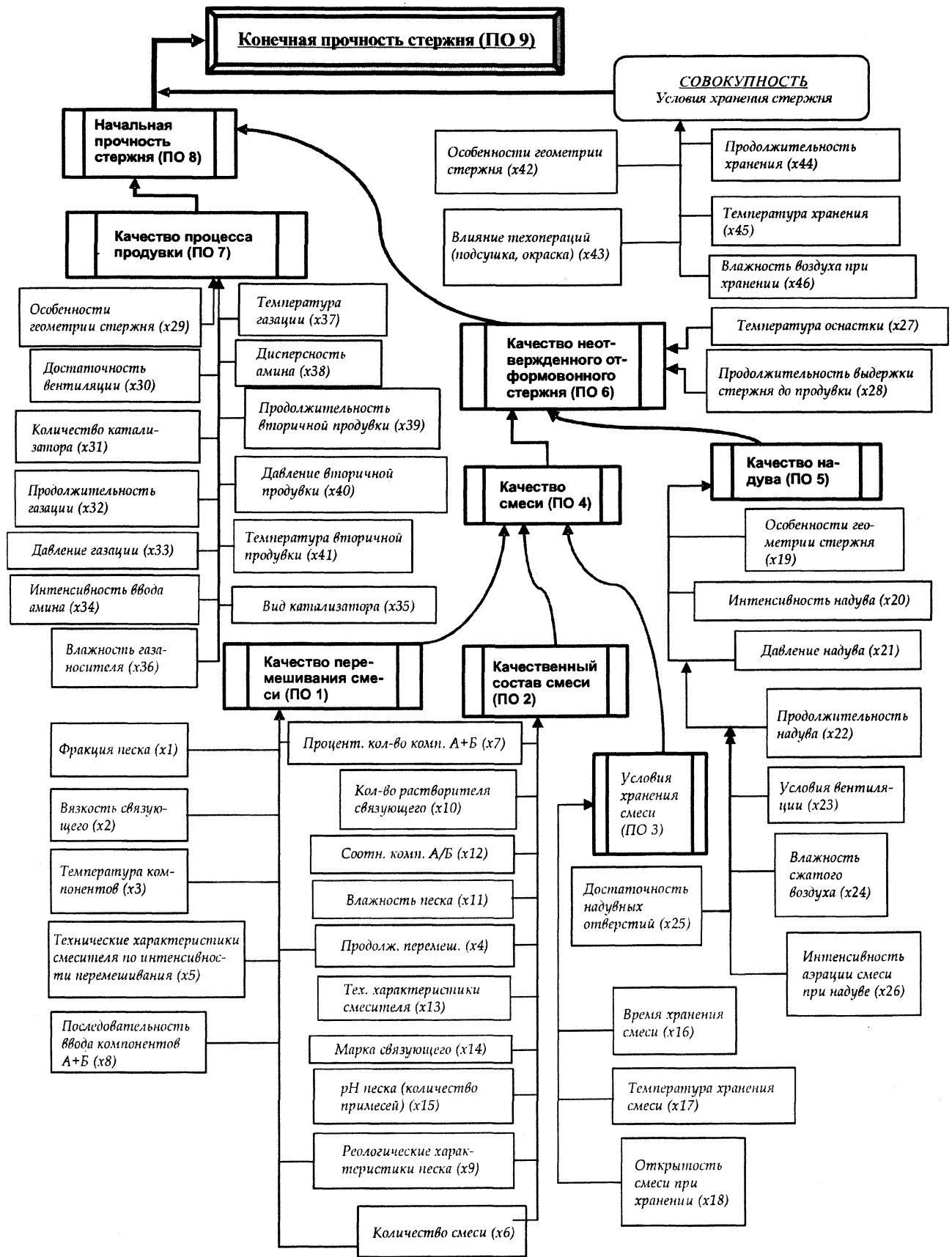


Рис. 1. Основная многофакторная модель формирования прочности стержней системы Колд-бокс-амин

Данные, представленные на рис. 2, свидетельствуют об общих тенденциях поведения прочностных показателей стержневой смеси, зависящих от технологичности содержания растворителя связующего. Такой четырехфакторный эксперимент позволяет выделить основные положения.

- Максимальная прочность стержней в случае оптимальных значений внешних условий достигается при нормальном содержании растворителя связующего. Как повышенное, так и пониженное технологическое содержание растворителя нежелательно.

- Повышенная или пониженная температура компонентов смеси приводит, как правило, к ухудшению прочностных показателей смеси. Повышенная температура (особенно в случаях длительного перемешивания смеси) ведет к интенсивному испарению растворителя связующего и связанного с этим падению прочности стержней, пониженная температура — к ухудшению перемешивания компонентов смеси и снижению реакционной способности компонентов смеси.

- Уменьшение отрицательного влияния низкой температуры компонентов смеси достигается путем увеличения продолжительности ее перемешивания. При этом улучшается распределение компонентов связующего по поверхности наполнителя за счет некоторого увеличения температуры смеси, вызванного трением. Наилучшие результаты предлагаемый способ имеет в случае несколько повышенного содержания растворителя связующего.

- Уменьшение отрицательного влияния высокой температуры компонентов смеси достигается при использовании связующего с повышенным содержанием растворителя.

- Снижение содержания растворителя связующего ниже технологичного уровня, возникшее либо при его исходном недостатке, либо в результате интенсивного его испарения при перемешивании смеси (особенно в условиях высоких температур), крайне отрицательно отражается на прочностных характеристиках смеси.

На рис. 3 показано влияние внешних условий и особенностей хранения смеси на качественный параметр «Условия хранения смеси», главным образом зависящий от интенсивности испарения растворителя. Результаты эксперимента позволяют отметить, что:

- «открытый» вариант хранения готовой стержневой смеси характеризуется значительными потерями растворителя связующего, прочность стержней при снижении содержания растворителя уменьшается, определяя живучесть смеси; «закрытый» вариант хранения готовой стержневой смеси предпочтительнее, так как заметно увеличивается живучесть смеси, в значительном временном интервале хранения смесь сохраняет стабильно высокие значения даже при условии повышенных внешних температур;

- пониженные температуры несколько увеличивают живучесть стержневых смесей, повышенные температуры, особенно в случае «открытого» хранения смеси, вызывая интенсивное испарение растворителя связующего, понижают прочностные показатели стержней и живучесть стержневой смеси.

На рис. 4 показано влияние условий хранения «открытой» смеси на изменение содержания растворителя связующего и соответственно прочности стержней. В результате экспериментов подтверждается высокое значение влияния уровня содержания растворителя связующего на формирование прочности стержней. Максимальные значения прочности можно получить лишь при изготовлении стержней с технологическим уровнем содержания растворителя связующего; подтверждается также снижение живучести стержневой смеси с низким и технологичным начальным содержанием растворителя связующего при увеличении внешней температуры. Более низкие температуры сопутствуют некоторому увеличению живучести. Причина таких явлений также объясняется изменением структурного состояния связующего, вызванного изменением содержания растворителя связующего вследствие его испарения.

Смеси с низким содержанием растворителя связующего особенно сильно подвержены вредному воздействию повышенных температур при хранении смеси. Использование таких смесей в этих условиях недопустимо.

В соответствии с существующим представлением о механизме формирования прочности стержневой системы Колд-бокс-амин основное влияние на прочностные характеристики стержня при их хранении оказывает состояние макро- и микроструктуры связующего. В следующем эксперименте было рассмотрено влияние внешних факторов совокупности «Условия хранения стержней» на три показательных исходных состояния структуры связующего.

Данные, представленные на рис. 5, А, показывают, как изменяются прочностные характеристики выдержанного в течение 1 сут при нормальных внешних условиях стержня, имеющего технологическое количество растворителя, изготовленного по уровню ПО $\delta_{(опт)}$. Стержень обладает высокой прочностью, стабильным состоянием структуры связующего, характеризуемым невысоким содержанием растворителя в подкорковой зоне и достаточной степенью сшивки глобул полиуретана.

На рис. 5, Б показано состояние искусственно «состаренного» стержня с пониженным до минимального содержания количеством растворителя в подкорковой зоне (достигается интенсивной продувкой холодным воздухом свежизготовленного стержня). Такой стержень также имеет высокую начальную прочность. Состояние структуры связующего характеризуется минимальным содержа-

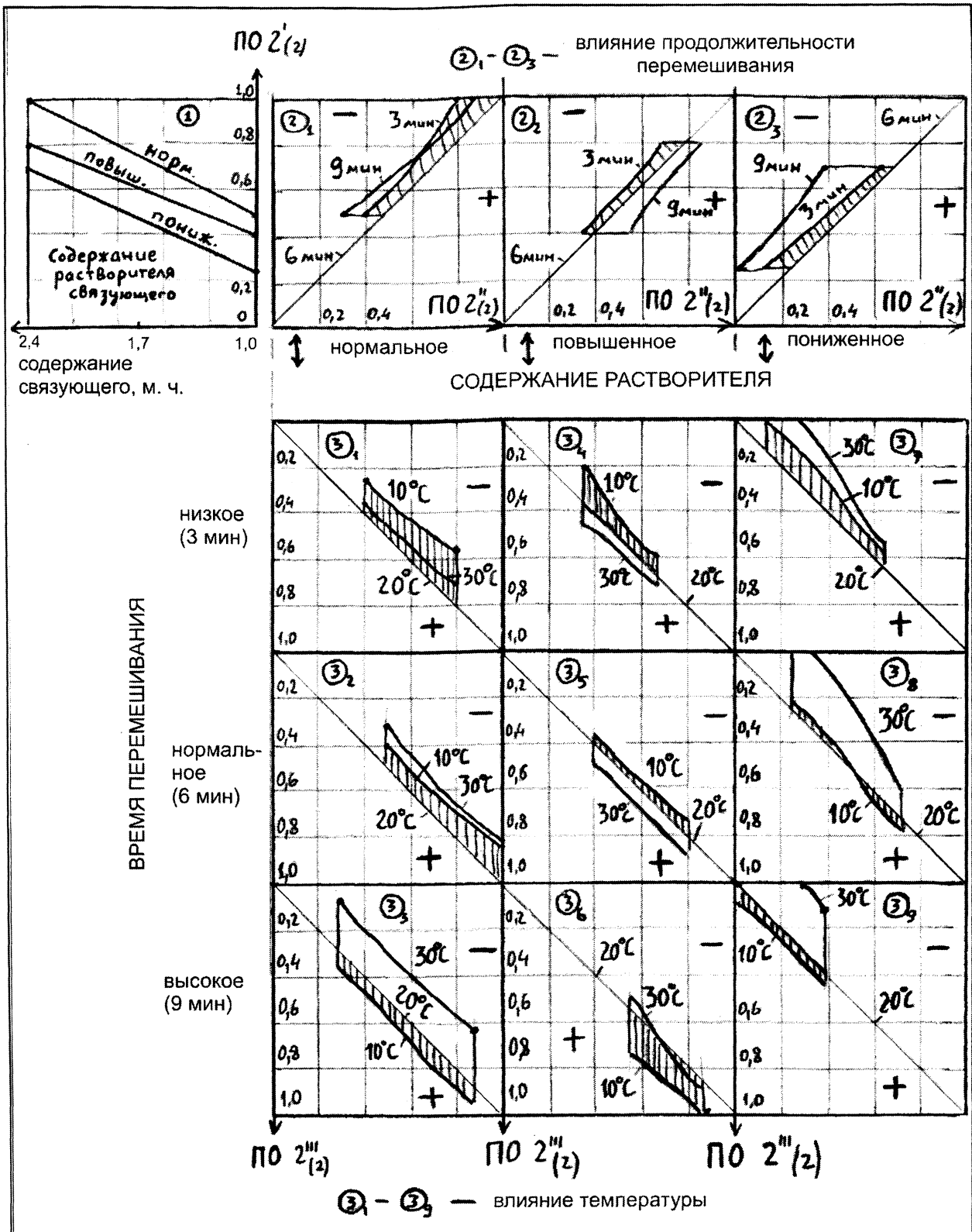


Рис. 2. Влияние содержания связующего в стержневой смеси, растворителя связующего, времени перемешивания и температуры компонентов на ПО 2₍₂₎ (как показатель суточной прочности)

нием растворителя связующего, первичной плотностью сшивки глобул полиуретана и значительными внутренними напряжениями, вызванными активными усадочными процессами.

Рис. 5, В характеризует состояние свежеизготовленного стержня, выдержанного в закрытом

состоянии 24 ч. Структуры связующего имеют высокое содержание растворителя, достаточную степень сшивки молекул полиуретана и низкие значения внутренних напряжений.

Анализ результатов качественного влияния условий хранения на конечную прочность стерж-

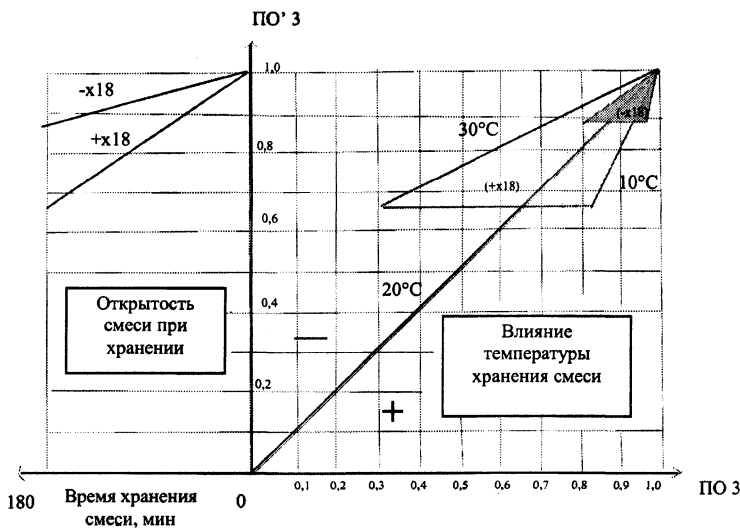


Рис. 3. Влияние времени и температуры хранения смеси в различных условиях возможности испарения растворителя на прочностные показатели смеси через качественный параметр «Условия хранения смеси» (ПО 3)

ней позволяет отметить влияние повышенной влажности на прочность стержня. На определенных стадиях состояния структуры связующего падение прочности стержней может быть как обратимым (вариант с повышенным содержанием

растворителя — свежизготовленный стержень), так и необратимым (вариант с пониженным содержанием растворителя — длительно хранящийся стержень). Состояние макро- и микроструктуры стержня играет определенную роль в отношении влагоустойчивости. При этом наиболее стойкими (после подсушки) являются свежизготовленные стержни (с повышенным содержанием растворителя), что объясняется целостным состоянием структуры связующего. Негативное влияние разупрочнения свежизготовленных стержней под действием влаги легко устраняется при сушке стержня. Временное разупрочнение вызывается насыщением влажной открытой структуры связующего, зона локализации растворителя становится еще более ослабленной. При сушке такого стержня влага и растворитель легко испаряются, ослабленная подкорковая зона ликвидируется, происходит сшивка всех слоев адгезива и упрочнение связей внутри слоев. Прочность таких стержней после сушки восстанавливается в значительной мере.

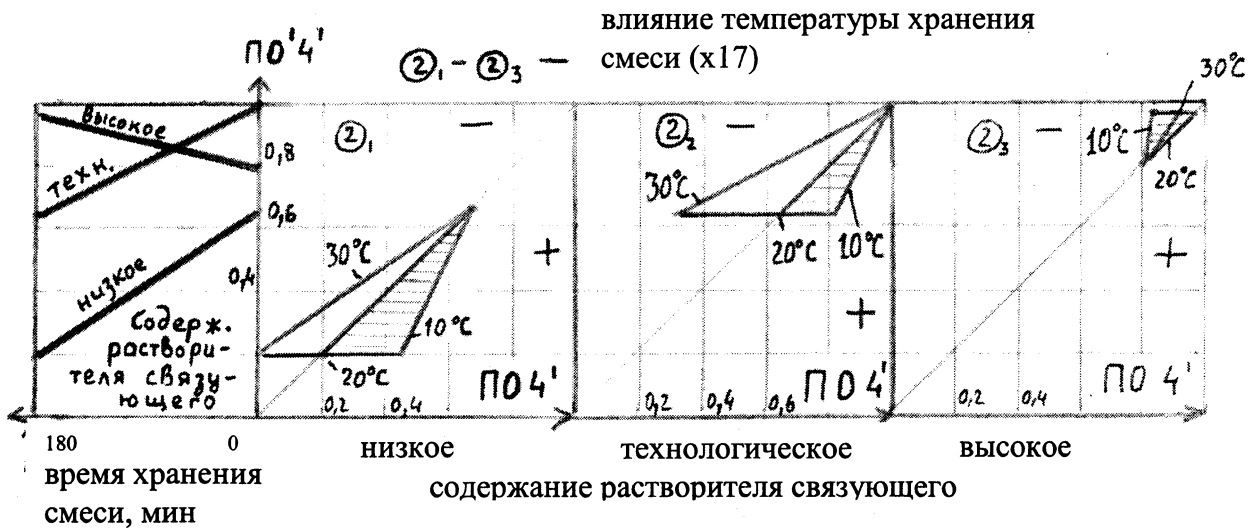


Рис. 4. Влияние начального уровня содержания растворителя связующего свежизготовленной стержневой смеси и условий хранения смеси на прочностные показатели выдержанных стержней через качественный параметр ПО 4' «Уровень технологичности содержания растворителя связующего в момент изготовления стержня»

Дополнительной подсушкой нельзя восстановить прочность ослабленной избыточной влагой стержня, характеризуемого отсутствием растворителя связующего в подкорковой зоне. Влага, проникая в открытую структуру связующего по многочисленным трещинам (возникшим при усадке связующего вследствие испарения растворителя) к поверхности наполнителя, вызывает разрушение адгезионного контакта. Незначительное повышение прочности таких стержней при последующей сушке объясняется термическим усилением степени сшивки внутреннего объема связующего. Однако потеря адгезионного контакта

между частью связующего и наполнителем является окончательной, что объясняет невозможность восстановления в достаточном объеме прочности таких стержней.

Таким образом, новые данные, полученные в результате проведения многофакторного эксперимента по определению прочностных показателей стержней системы Колд-бокс-амин при различных условиях их изготовления и обработки, подтверждают возможность уменьшения воздействия отдельных неуправляемых негативных факторов процесса за счет изменения других (управляемых) параметров процесса. Анализ интерполя-

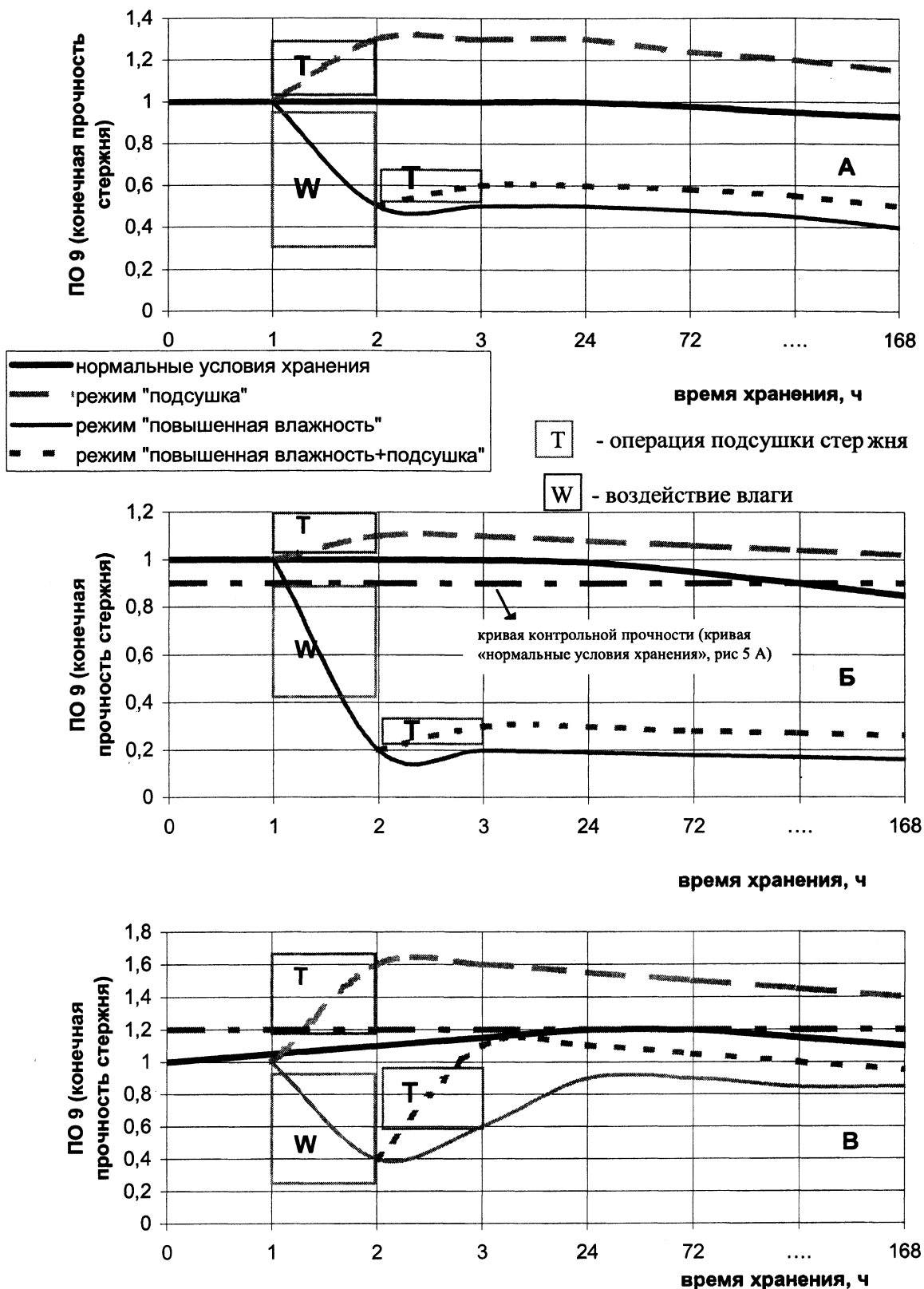


Рис. 5. Влияние условий хранения стержней на состояние их прочности: А – нормальное; Б – пониженное; В – повышенное исходное содержание растворителя связующего

ционных зависимостей, полученных в ходе выполнения многофакторного эксперимента, позволяет выявить наиболее благоприятный вариант проведения технологического процесса изготовления и обработки стержней с учетом существующих (неуправляемых) факторов и в ряде случаев

предотвратить потерю прочности за счет варьирования значениями отдельными параметрами процесса.

Литература

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.