

ник. Инженерный журнал. — 2004. — № 10. — С. 24–31.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ОБРОБЦІ ПОВЕРХНІ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

**А. А. Дудніков, А. І. Біловод, А. А. Келемеш**

У статті розглядаються питання підвищення надійності та довговічності деталей машин за рахунок підвищення якості їх поверхневого шару при різних способах обробки.

**Ключові слова:** пластичне деформування, зміцнююча обробка, вібраційне деформування.

*Анатолій Андрійович Дудніков, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедрою ремонту машин і технологій конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія.*

*Олександра Іванівна Біловод, кандидат технічних наук, доцент кафедри загально-технічних дисциплін, Полтавська державна аграрна академія.*

*Антон Олександрович Келемеш, асистент, кафедра ремонту машин і технологій конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія*

## ENSURING THE QUALITY OF THE SURFACE LAYER OF PARTS IN THE PROCESSING OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION

**A. Dudnikov, A. Belovod, A. Kelemesh**

The article examines the reliability and durability of machine parts by improving the quality of the surface layer with different methods of treatment.

**Keywords:** plastic deformation, the hardening process, the deformation vibration.

*Anatoly Dudnikov, the head is Ph. D., Professor, Poltava state agrarian academy.*

*Alexandra Belovod, the head is Ph. D., Professor Assistant, Poltava state agrarian academy.*

*Anton Kelemesh, assistant, Poltava state agrarian academy*

### Адрес для переписки:

36003, г. Полтава, ул. Сковороды, 1/3  
Полтавская государственная аграрная академия

Тел. (факс): (05322) 2-29-81

E-mail: mech@pdaa.com.ua

УДК 621.74

**М. Г. Курьин\***

## СИНТЕЗ САМОТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ С ЗАДАНЫМ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В статье описаны результаты оптимизации состава самоотвердеющих смесей с жидким стеклом и пропиленкарбонатом по критериям живучести и осыпаемости. Предложен оптимальный состав этих компонентов смеси и рассчитаны технологические режимы процесса омагничивания жидкого стекла для изготовления смеси оптимального состава.

**Ключевые слова:** холоднотвердеющая смесь, жидкое стекло, оптимизация, состав смеси.

### 1. Введение

Современная тенденция применения в литейном производстве холоднотвердеющих формовочных смесей (ХТС) предполагает решение ряда задач, связанных с поиском оптимальных рецептур ХТС и технологических режимов их приготовления. Одним из решений может быть выбор в качестве отвердителя пропиленкарбоната, а в качестве связующего — жидкого стекла. Обоснованием к выбору такого варианта компонентов в рецептуре

смеси могут быть результаты экспериментальных исследований, выполненных на кафедре литейного производства Харьковского политехнического института доцентом Коваленко Б. П. В частности, в рамках этих исследований было показано, что при взаимодействии пропиленкарбоната с жидким стеклом протекает гидролиз сложного эфира в щелочной среде с образованием пропиленгликоля (спирта) и угольной кислоты. Последняя, реагируя с жидким стеклом, вызывает образование кремниевой кислоты и бикарбоната

\* Работа выполнена под руководством профессора кафедры литейного производства Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» Дёмина Д. А.

натрия (на начальной стадии твердения), который в процессе дальнейшего твердения смеси реагирует со щелочью жидкого стекла и переходит в одноводный карбонат натрия.

На начальной стадии гелеобразования (индукционный период) жидкостекольные композиции с пропиленкарбонатом представляют собой слабоструктурированные жидкости с незначительным градиентом вязкости. По мере протекания реакций, после окончания индукционного периода, вязкость композиции резко возрастает, что объясняется поликонденсацией мономеров кремниевой кислоты, образовавшихся в результате взаимодействия угольной кислоты с жидким стеклом. Таким образом, основным продуктом взаимодействия жидкого стекла с пропиленкарбонатом является кремниевая кислота, образующая кремнеполимер с высокой степенью поликонденсации, который является ответственным за формирование прочности формовочных и стержневых смесей.

В связи с этим, актуальной является задача определения такого количества жидкого стекла и пропиленкарбоната в смеси, которое обеспечивает максимальные показатели свойств смеси. В числе последних могут быть живучесть смеси и осыпаемость смеси [1].

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В работе [1] приведены результаты обработки экспериментальных данных по определению показателей живучести и осыпаемости ХТС. Технология приготовления смесей и образцов для получения значений входных переменных процесса (содержание жидкого стекла  $x_1$  и пропиленкарбоната  $x_2$ ) и выходных переменных процесса (живучести  $y_1$  и осыпаемости  $y_2$ ) включала следующие операции.

В лабораторный смеситель периодического действия конструкции ЦНИИТМАШ с горизонтальным лопастным смешивающим валом ( $120 \text{ мин}^{-1}$ ) вводили наполнитель (кварцевый песок, цирконовый концентрат, дистенсиллиманит, хромомагнетит, хромит и т. д.) в количестве 3–5 кг. В связи с тем, что относительное малое количество жидкого отвердителя должно было быть распределено в большом объеме, порядок приготовления смеси был следующим. Вначале наполнитель в течение 90 с перемешивали с отвердителем, после чего вводили жидкое стекло и перемешивали еще 45–60 с. По окончании приготовления смесь выпускали из смесителя и производили ее засыпку в 9-ти гнездные формы-блоки конструкции ЦНИИТМАШ, применяемые для изготовления образцов из ЖСС. Для уменьшения адгезии многоместные формы перед засыпкой в них смеси смазывали насыщенным раствором  $\text{CaCl}_2$  или ПАВ ДС-РАС. Высокая сыпучесть смесей с жидким отвердителем позволяла

изготавливать образцы для физико-механических испытаний путем свободной засыпки смеси в формы-блоки с одновременной вибрацией в течение 5–10 с (или ручным подуплотнением).

После уплотнения смеси в стержневом ящике (форме-блоке) снимали наполнительную рамку и металлической линейкой срезали излишек смеси. Кинетику процессов схватывания смесей оценивали с помощью конического пластометра, а сроки твердения — с помощью иглы ВИКа. Через 20–30 мин формы-блоки раскрывали и извлекали цилиндрические образцы, выдерживали на воздухе при комнатной температуре ( $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и определяли их физико-механические свойства (прочность, газопроницаемость, осыпаемость, гигроскопичность и т. д.) на стандартных приборах для испытания формовочных смесей.

Живучесть смесей определяли с помощью прибора, сконструированного в ЦНИИТМАШ, для измерения реологических свойств смесей (модель «ПРС»). Принцип работы прибора основан на изменении механического момента, приложенного к измерительному ротору прибора, погруженного в исследуемую смесь. Смесь помещалась в специальную гильзу. Изменение силы тока автоматически записывалось на потенциометре, поэтому время окончания живучести считывалось с ленты потенциометра.

Осыпаемость смесей после суточного твердения оценивалась по убыли массы образцов при их вращении в сетчатом барабане в течение 1 мин. Допускаемая величина осыпаемости, при которой стержни и формы могут быть использованы под заливку металлом, не должна превышать 0,3 %.

Для измерения гигроскопичности стандартные образцы помещали в эксикатор над раствором серной кислоты 25 %-ной концентрации (при этом создавалась атмосфера с равновесной относительной влажностью 82,2 %). Эксперимент проводили при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Гигроскопичность определяли аналитическим взвешиванием образцов через равные промежутки времени. Если результат какого-либо испытания отличается от среднего арифметического более, чем на 10 %, то испытание повторяли на трех новых образцах. В качестве исходных компонентов использовали: песок марки К016, жидкое стекло ( $M = 2,4$ ;  $\rho = 1480 \text{ кг/м}^3$ ) и пропиленкарбонат ( $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$ ). Эксперименты проводили при  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Входные переменные изменялись в следующих пределах (масс. ч): жидкое стекло ( $x_1$ ) — 3,0–4,0; пропиленкарбонат ( $x_2$ ) — 0,3–0,4.

Предварительно, с учетом производственных условий изготовления стержней и форм и самоотверждающих смесей задавались следующие технологические и физико-механические свойства:

— минимально допустимая живучесть смесей, необходимая для заполнения стержневых

ящиков и форм, должна составлять не менее 10–12 мин;

– осыпаемость смесей не должна превышать 0,2 %.

При проведении экспериментов использовали центральный ортогональный композиционный план второго порядка [1, 2]. В результате обработки данных были получены математические модели (1) и (2), связывающие входные и выходные переменные. Адекватность моделей и статистический анализ точности проводились по методике, изложенной в работе [3].

$$y_1 = 14,5 + 0,42x_1 + 0,17x_2 + 0,03x_1^2 - 0,22x_2^2, \quad (1)$$

$$y_2 = 0,07 - 0,07x_1 + 0,02x_2 + 0,05x_1^2 + 0,01x_2^2 - 0,03x_1x_2, \quad (2)$$

где  $x_1, x_2$  – значения входных переменных в нормированном виде, связываемым с натуральными значениями реализацией процедуры, изложенной в работе [2].

Полученные математические модели описывают некоторую поверхность отклика в факторном пространстве «содержание жидкого стекла – содержание пропиленкарбоната», которая должна быть проанализирована для нахождения оптимальных значений компонентов. Применение полученных при этом решений может быть использовано для оптимизации технологии изготовления ХТС. Используя, при этом, результаты исследований, приведенных в работе [4], может быть комплексно решена задача оптимального синтеза состава ХТС.

### 3. Цель и задачи исследования

Целью исследований является анализ поверхности отклика для моделей (1) и (2), нахождение по результатам этого анализа оптимального содержания компонентов ХТС и нахождение оптимальных технологических режимов приготовления смеси, что позволит в комплексе решить задачу оптимального синтеза состава ХТС. Для этого необходимо решение следующих задач:

1. Исследование поверхностей отклика, описываемых математическими моделями (1) и (2).
2. Расчет оптимальных технологических режимов процесса омагничивания жидкого стекла, схема которого приведена в работе [4].

### 4. Исследование поверхностей отклика

Нахождение оптимальных параметров технологических процессов в литейном производстве предполагает использование специального математического аппарата исследований [5]. Для исследования поверхностей отклика, описываемых математическими моделями (1) и (2), был применен

гребневой анализ по Хёрлю [6]. Согласно этой методике, оптимальное решение задачи находится разверткой на плоскость кривой, полученной в результате сечения поверхности отклика некоторым цилиндром в факторном пространстве радиуса  $r$ . При этом различным радиусам соответствуют различные значения оптимальных значений факторов, причем это различие определяется выбором множителя Лагранжа  $\lambda$  [6].

На рис. 1–3 приведены графики зависимостей  $r = f(\lambda)$ ,  $y_1 = f(\lambda)$  и  $y_1 = f(r)$ .

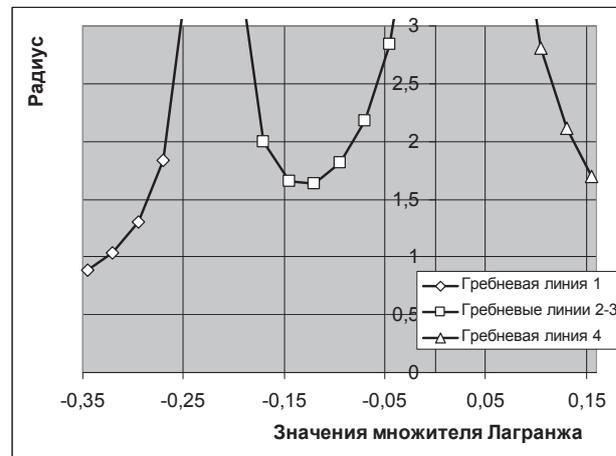


Рис. 1. График зависимости  $r = f(\lambda)$

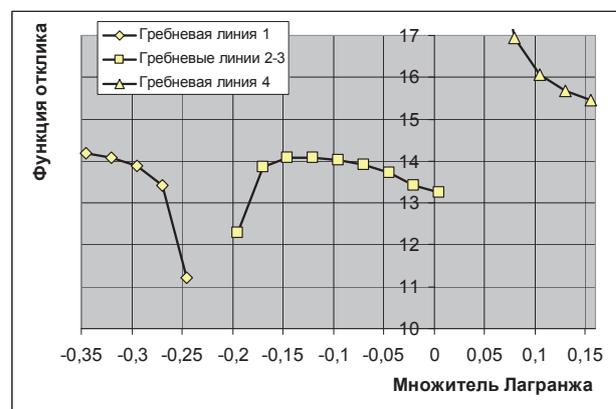


Рис. 2. График зависимости  $y_1 = f(\lambda)$

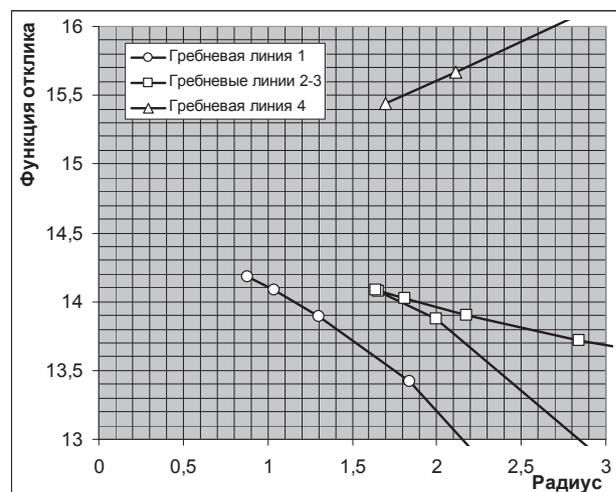


Рис. 3. График зависимости  $y_1 = f(r)$

Из рис. 3 видно, что максимальное значение живучести достигается на гребневой линии 4, однако, учитывая ограниченность плана эксперимента величиной  $r = 1,41$  (диапазон исходных данных в нормированном виде представляет собой квадрат, описанный окружностью  $r^2 = 2$ ), оптимум может быть достигнут на пересечении прямой  $r = 1,41$  и гребневой линии 1. Оптимальные значения входных переменных при этом составляют:  $x_1 = -0,56$ ,  $x_2 = -0,68$ , что в натуральных единицах составит  $x_1 = 3,22$  масс. ч,  $x_2 = 0,384$  масс. ч.

На рис. 4–6 приведены графики зависимостей  $r = f(\lambda)$ ,  $y_2 = f(\lambda)$  и  $y_2 = f(r)$ .

Учитывая, что осыпаемость смесей в производственных условиях не должна превышать 0,2%, можно сделать вывод, что для определения оптимальных значений входных переменных необходимо ограничиться диапазоном  $r < 2,4$  и гребневыми линиями 2–3. Однако, учитывая ограниченность плана эксперимента величиной  $r = 1,41$  оптимум может быть достигнут на пересечении прямой  $r = 1,41$  и гребневой линии 1. Оптимальные значения входных переменных при этом могут находиться в диапазоне:  $(x_1 = 0,583, x_2 = -0,5)$ ;  $(x_1 = 0,625, x_2 = -0,625)$ ;  $(x_1 = 0,673, x_2 = -0,833)$ , что в натуральных единицах составит, соответственно  $x_1 = 3,83$  масс. ч,  $x_2 = 0,325$  масс. ч;

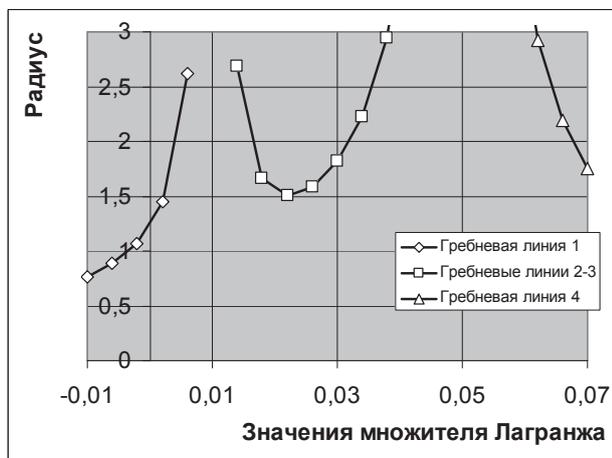


Рис. 4. График зависимости  $r = f(\lambda)$

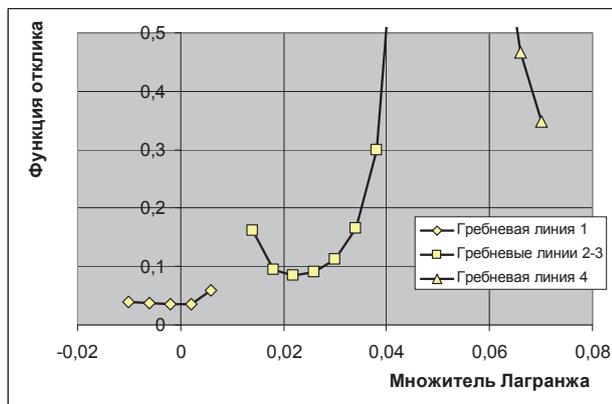


Рис. 5. График зависимости  $y_2 = f(\lambda)$

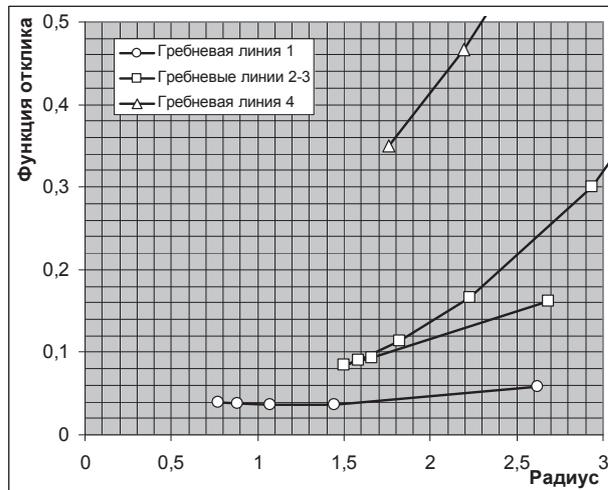


Рис. 6. График зависимости  $y_2 = f(r)$

$x_1 = 3,813$  масс. ч,  $x_2 = 0,319$  масс. ч;  $x_1 = 3,837$  масс. ч,  $x_2 = 0,308$  масс. ч.

Учитывая, что показатели жидкого стекла, используемого для приготовления ХТС оптимального состава, близки к оптимальным показателям, полученным в работе [4], возможна постановка задачи оптимального управления [7] процессом омагничивания жидкого стекла. Как показано в работе [8], прочность образца на разрыв зависит от напряженности магнитного поля при омагничивании жидкого стекла и продолжительности тепловой сушки. Используя экспериментальные данные, приведенные в [8], получена математическая модель, связывающая входные переменные (напряженность магнитного поля  $x_1$  и продолжительность тепловой сушки  $x_2$ ) и выходную переменную (прочность образца на разрыв  $y$ ). На рис. 7 показана поверхность отклика, описывающая полученную математическую модель  $y = f(x_1, x_2)$ .

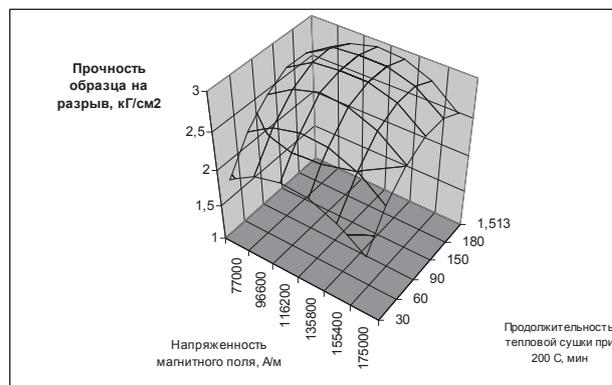


Рис. 7. Поверхность отклика, описывающая зависимость прочности на разрыв образца от напряженности магнитного поля и продолжительности тепловой сушки

Координаты экстремума целевой функции  $y$ , соответствующие оптимальным значениям технологических режимов, получаются приравниванием нулю производных по факторам модели  $y = f(x_1, x_2)$

и решением полученной системы линейных уравнений.

## 7. Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что для повышения эффективности процесса омагничивания жидкого стекла необходимо использовать ЖС с показателями: модуль 2,86 и плотность 1,45. Такие показатели ЖС обеспечивают высокую степень омагничивания (52 %), что, как следствие, изменяет величину адгезии и улучшает способность ЖС распределяться равномерным слоем по поверхности зерен песка.

## Литература

1. Коваленко Б. П. Оптимизация состава холоднотвердеющих смесей (ХТС) с пропиленкарбонатом [Текст] / Б. П. Коваленко, Д. А. Дёмин, А. Б. Божко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х. : Технологический Центр. — 2006. — № 6. — С. 59–61.
2. Дёмин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х. : Технологический Центр. — 2005. — № 6. — С. 48–59.
3. Дёмин Д. А. Обработка экспериментальных данных и построение математической модели технологического процесса методом наименьших квадратов (МНК) [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х. : Технологический Центр. — 2006. — № 3/1. — С. 47–50.
4. Курын М. Г. Определение оптимальных характеристик жидкого стекла для процесса омагничивания жидкостекольных смесей [Текст] / М. Г. Курын // Технологический аудит и резервы производства. — Х. : Технологический Центр. — 2011. — № 2/2. — С. 14–20.
5. Дьомін Д. О. Деякі аспекти управління якістю чагуна з пластинчастим графітом [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / Д. О. Дьомін; [Харківський політехнічний інститут ХПІ]. — Х., 1995. — 24 с.
6. Дёмин Д. А. Оптимизация технологических режимов [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х. : Технологический Центр. — 2006. — № 2/1(20). — С. 32–35.
7. Дёмин Д. А. Синтез систем управления технологическими процессами электродуговой плавки чугуна [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х. : Технологический Центр. — 2012. — № 2/10(56). — С. 4–9.

## СИНТЕЗ САМОТВЕРДЮЧИХ СУМІШЕЙ ІЗ ЗАДАНИМ КОМПЛЕКСОМ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

М. Г. Курын

У статті описані результати оптимізації складу самотвердіючих сумішей з рідким склом та пропиленкарбонатом по критеріям живучості та осипаємості. Запропоновано оптимальний склад цих компонентів суміші та розраховані технологічні режими процесу омагничування рідкого скла для виготовлення суміші оптимального складу.

**Ключові слова:** холоднотвердіюча суміш, рідке скло, оптимізація, склад суміші.

*Марина Григорівна Курын, магістрант кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*

## SYNTHESIS OF COLD-HARDENING MIXTURES WITH GIVEN SET OF PROPERTIES AND OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL REGIMES OF THEIR MANUFACTURING

M. Kuryn

The article describes the results of the optimization of mixture of cold hardening with liquid glass and propylene carbonate on the criteria of survivability and destruction of the mixture. We propose an optimal composition of the mixture components, and technological regimes calculated magnetization process for the manufacture of sodium silicate mixture of optimal composition.

**Keywords:** cold-mix, liquid glass, optimization, and the mixture

*Marina Kuryn, Student of foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*

### Адрес для переписки:

61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21  
 Национальный технический университет  
 «Харьковский политехнический институт»  
 Кафедра «Литейное производство»  
 E-mail: nauka@jet.com.ua