

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

---

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ СТАЛИ И СПЛАВОВ»

---

Кафедра инжиниринга технологического оборудования

Горбатюк С.М., Зарапин А.Ю., Наумова М.Г.

**STEELUNIVERSITY.ORG**

Информационные технологии в металлургии и машиностроении

Лабораторный практикум

Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: 22.03.02 "Металлургия" и 15.03.02 "Технологические машины и оборудование"

Выкса, 2016

## АННОТАЦИЯ

Steeluniversity.org - это бесплатный, отмеченный наградами интернет-проект, разработанный [International Iron and Steel Institute](http://www.ironandsteel.org) (Международным Институтом Чугуна и Стали). В рамках проекта предлагается полный пакет интерактивных, информативных, интегрированных и отвечающих современным требованиям ресурсов электронного обучения металлургическим технологиям, охватывающих все аспекты производства - от производства чугуна и выплавки стали до получения металлопродукции, ее применения и утилизации.

steeluniversity.org предоставляет возможность изучения и применения основных научных, металлургических и инженерных принципов, термодинамики и кинетики, которые являются основополагающими для производства и использования стали. Центр проекта - это серия реалистичных, игровых моделей основных металлургических процессов.

Этот сайт предназначен для студентов, аспирантов, их преподавателей, лекторов и профессоров, а также для работников (как правило, с высшим образованием) компаний, имеющих отношение к металлургической промышленности, а также их руководителей. Некоторые модели подходят для использования старшеклассниками.

Эти ресурсы дополняют традиционное обучение. Благодаря этому проекту, университетские профессора и лекторы смогут использовать практические примеры из металлургической промышленности для иллюстрации и демонстрации базовых принципов и теоретических концепций, являющихся неотъемлемой частью развития знаний и понимания студентов.

Предназначено для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки: 22.03.02 "Металлургия" и 15.03.02 "Технологические машины и оборудование"

## Содержание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Испытание на твердость	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Испытания на прочность	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Модель кислородно- конвертерной обработки стали	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Моделирование электроду- говой печи	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 Динамическая модель не- прерывной разливки стали	36
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 Моделирование прокатки листа	49
Библиографический список	63

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## Испытание на твердость

### Введение

В этом разделе вы научитесь проводить несколько виртуальных испытаний на твердость и соотносить результаты с другими свойствами стали, а также сферами ее применения.

Если представить все в упрощенном виде, твердость любого вещества легко определить - например, очевидно, что мел мягче стали, это определяется на ощупь или при царапании. Это свойство отражает способность противостоять пластической деформации. Простой относительный метод сравнения твердости был впервые представлен в виде шкалы Мооса. Сравнение твердости по этой шкале осуществлялось по методу царапания, смысл которого заключается в том, что одно вещество считается более твердым, чем другое, если оно может поцарапать его поверхность. По этой схеме, тальк является самым мягким веществом, ему присвоен класс 1, а алмазу, который может поцарапать все прочие вещества, присвоен класс 10. Однако при современных требованиях к материалам требуется более точная шкала, в особенности потому, что по шкале Мооса большинство металлов и сплавов относятся к одному и тому же классу.

### Как измеряется твердость I

Мера твердости определяется путем вдавливания одного материала в другой с известной механической силой. Так как способность материала противостоять деформации зависит от его предела текучести и наклепываемости, то, используя такой метод сравнения, можно измерить относительную прочность. При использовании очень прочного материала в качестве индентора, такого как алмаз, можно сказать, что деформируется только испытываемый материал.

Сейчас существует множество видов подобных испытаний. Все они основываются на принципе, что твердость является мерой способности материала противостоять пластической деформации. Очевидно, что для заданной силы размер лунки будет пропорционален пределу текучести вещества.

# Испытание на

На какой стали вы хотите провести испытание на твердость?

- Судовая толстолистовая сталь - уже подготовленная
- Повторное упрочнение
- Высокоуглеродистый стальной пруток
- Высокопрочная низколегированная сталь

Приступайте к испытанию на твердость вашей стали.  
Теперь нажмите "Дальше"

Продолжить

Расположите образец для испытания так, чтобы он соприкасался с алмазным индентором.:

- Стрелками вверх и вниз поднимайте или опускайте образец для испытания
- При правильном расположении вам будет разрешено продолжить



Продолжить

## Как измеряется твердость II

Контактное напряжение увеличивается по мере уменьшения радиуса закругления. Следовательно, присутствие нагрузки или комбинации сил, действующих на границе контакта, вызовет напряжение одного или обоих материалов сверх предела текучести.

Если  $\sigma_{ys}$  для А очень высокое по сравнению со значением для В, тогда А подвергнется упругой деформации. В точке контакта напряжение с легкостью превышает предел текучести, начинается пластическое течение, и индентор внедряется в материал.

Таким образом, в испытании на твердость используется индентор и нагрузочное устройство.

Представьте себе индентор в форме конуса. Если нагрузка дается на конус, напряжение на конце конуса, контактирующем с испытываемым материалом, теоретически будет обусловлено радиусом конца, который будет очень маленьким. Соответственно, напряжение будет очень высоким, оно с легкостью превысит напряжение текучести испытываемого материала.

Таким образом, начинается пластическая деформация испытываемого материала, и конус внедряется в испытываемый материал. Этот процесс продолжится, пока напряжение не станет меньше предела текучести испытываемого материала.

$$A = F / (\sigma_{ys} + \Delta\sigma)$$

Следовательно, диаметр индентера пропорционален пределу текучести материала, эта зависимость была бы линейной, если бы характеристики наклепываемости были аналогичными. Однако, есть несколько проблем, связанных с вышеупомянутым отношением:

- Конец индентора может деформироваться
- Напряжение воздействует на поверхность индентора
- Сила трения не учитывается

В этой анимации рассматриваются принципы, на которых основываются все испытания на твердость.

Применяются инденторы различных форм и размеров, однако твердость измеряется путем установления соотношения между размером лунки и приложенной силой.

Для стали используются три основных вида испытаний:

- по Виккерсу
- по Бринеллю
- по Роквеллу

Иногда также применяются испытания по Швику и по Кнупу.

## Формула Мейера

$$P = k \times d^n$$

где

$P$  - нагрузка / кг,  
 $D$  - диаметр лунки / мм  
 $k$  - материальная константа, сопротивление материала проникновению  
 $n$  - материальная константа, деформационное упрочнение (наклеп) металла.

### Испытать образец:

- Выберите нагрузку из развертывающегося окна
- Подождите до истечения времени выдержки
- Нажмите "Продолжить", чтобы посмотреть получающуюся лунку



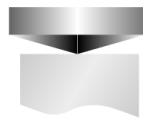
Задать нагрузку ▾

Время воздействия / sec

Продолжить

**Испытать образец:**

- Выберите нагрузку из разворачивающегося окна
- Подождите до истечения времени выдержки
- Нажмите "Продолжить", чтобы посмотреть получающуюся лунку



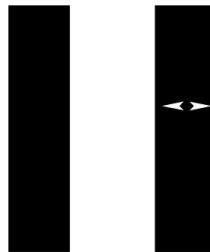
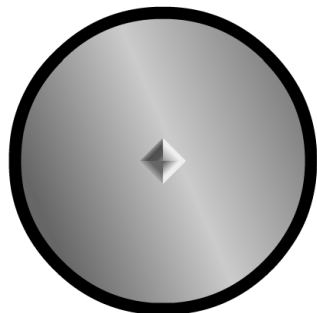
Время воздействия / sec 72

Продолжить

Чтобы выполнить комплексное упражнение, включающее отбор образцов стального толстого листа, подготовку образцов и проведение виртуальных испытаний на растяжение, на прочность и на ударную вязкость по Шарпи, вам необходимо войти в систему, чтобы вы могли сохранять свои данные и использовать их впоследствии. Если вы хотите сделать это, используйте ссылку ниже. Вы также можете выполнять упражнения по отдельности.

**Измерить длину диагонали лунки**

- Отцентрируйте измерительное устройство
- Перетяните правый "нож" к краю лунки
- Переведите измеренный размер лунки в твердость по Виккерсу
- Сохраните результаты (если применимо)



Отцентрировать измерительное устройство

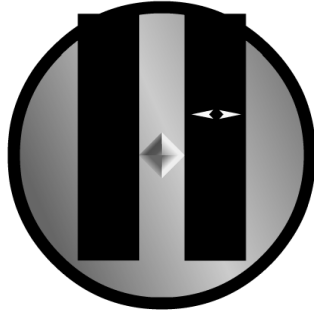
Посмотреть твердость по Виккерсу

Начать снова с другим образцом стали



**Измерить длину диагонали лунки**

- Отцентрируйте измерительное устройство
- Перетяните правый "нож" к краю лунки
- Переведите измеренный размер лунки в твердость по Виккерсу
- Сохраните результаты (если применимо)



Отцентрировать измерительное устройство

0.307 mm

Посмотреть твердость по Виккерсу

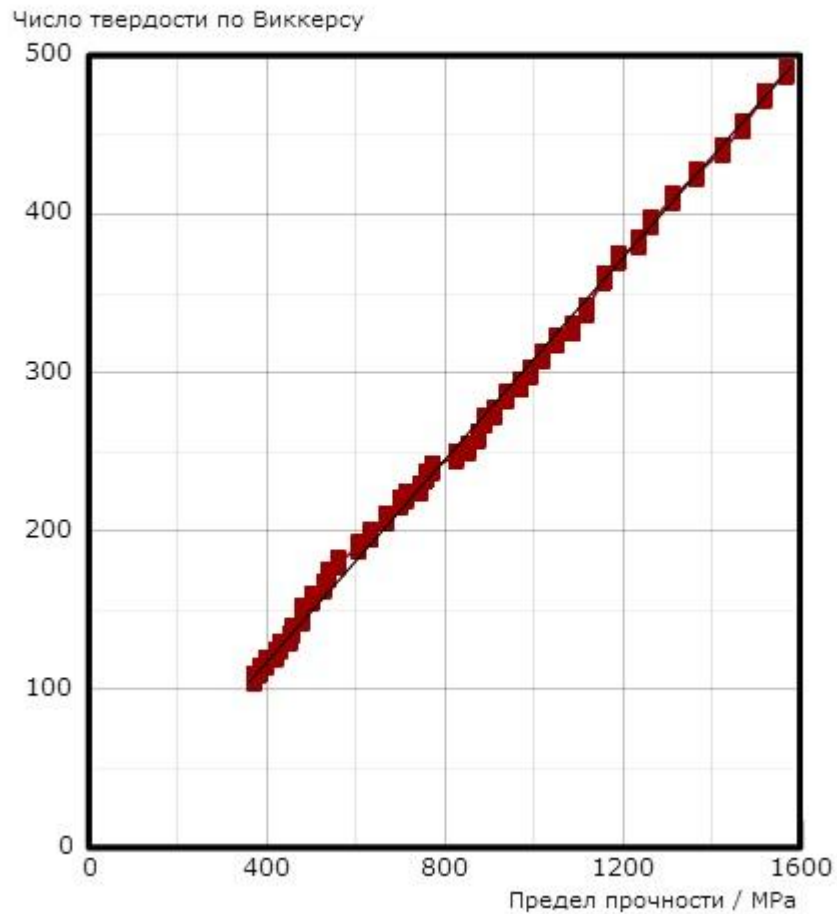
Измеренная твердость по Виккерсу = 99

Отлично, вы точно измерили твердость этого образца для испытаний.

Начать снова с другим образцом стали

Твердость стали тесно связана с пределом прочности.

### Отношение между твердостью по Виккерсу и прочностью на растяжение



### Испытание на твердость: Резюме

В этом разделе вы научились проводить различные виртуальные испытания на твердость и соотносить результаты с другими свойствами стали и сферами применения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### Испытания на прочность

**Цель работы:** Исследование процесса растяжения металлического образца вплоть до его разрыва и испытание образца с выбранными характеристиками на растяжение.

#### **Выполнение работы:**

Для начала работы выбираем проведение испытание на растяжение на повторно упрочненной полосовой стали.

www.steeluniversity.org/content/html/rus/tensile-test.asp?sa=0 - Google Chrome

www.steeluniversity.org/content/html/rus/tensile-test.asp?sa=0

# Испытание на

**Выбрать из:**

- Проведите испытание на растяжение на образцах судового листа, которые вы уже подготовили
- Проведите испытание на растяжение на повторно упрочненной полосовой стали
- См. результаты испытания высокоуглеродистого стального прутка и проволоки
- См. результаты закаленной и отпущенной высоколегированной стали (300M)

Теперь вы проведете испытание на растяжение повторно упрочненной полосовой стали.  
Теперь нажмите "Дальше"

Продолжить

Испытания проводим с использованием месдозы.

*Месдоза* представляет собой стальной цилиндр, разделенный на две части резиновой мембраной. Верхняя часть цилиндра, соединенная с манометрами, наполнена глицерином или маслом, а в нижней части помещается

поршень. К нижней части поршня прикрепляется нож, который производит давление на испытуемый образец при подъеме подвижной поперечины.

Для начала работы выбираем параметры испытуемого образца и усилие месдозы.

www.steeluniversity.org/content/html/rus/tensile-test.asp?sa=0 - Google Chrome

www.steeluniversity.org/content/html/rus/tensile-test.asp?sa=0

Повторно упрочненная сталь

Месдоза

10

Введите площадь поперечного сечения вашего образца / mm<sup>2</sup>

Задайте ожидаемую прочность на растяжение этого типа стали / МПа

Введите ожидаемое максимальное усилие / kN

Проверьте площадь поперечного сечения Проверьте прочность на растяжение

Используя это значение, выберите подходящий диапазон нагрузок для ваших измерений. Убедитесь, что месдоза отвечает максимальному усилию. Для этого вам потребуется учесть разрешающую способность индикатора нагрузки и необходимость более высокой точности измерения напряжения.

Хорошо. Приступайте к испытанию.

27.6 mm

Lo 80 mm

LC 125 mm

R = 25

0.75 mm

Основные параметры испытания материала на растяжение:

### Модуль упругости

Модуль упругости это мера жесткости материала, однако, она действует только на линейном участке кривой. Если образец подвергается нагрузке на линейном участке, то материал вернется в исходную форму при прекращении действия нагрузки. В точке отклонения кривой от прямой закон Гука больше не применяется, и образец подвергается остаточной деформации. Эта точка называется "пределом упругости или пределом пропорциональности". Начиная с этой точки при проведении испытания на растяжение материал подвергается пластической деформации при любом даль-

нейшем увеличении нагрузки или напряжения. Он не возвращается в исходную форму после прекращения действия нагрузки.

### **Предел текучести**

"Предел текучести" материала - это величина напряжения, прилагаемого к материалу, при котором начинается его пластическая деформация по мере нагружения.

#### 1.1.1 Деформация

Вы также можете определить степень растяжения или удлинение образца при проведении испытания на растяжение. Либо путем абсолютного измерения изменения длины образца, либо путем относительного измерения - "деформации". Деформация сама может быть "условной" и "истинной". Определение условной деформации - самый простой и широко распространенный способ. Это отношение изменения длины к начальной длине,

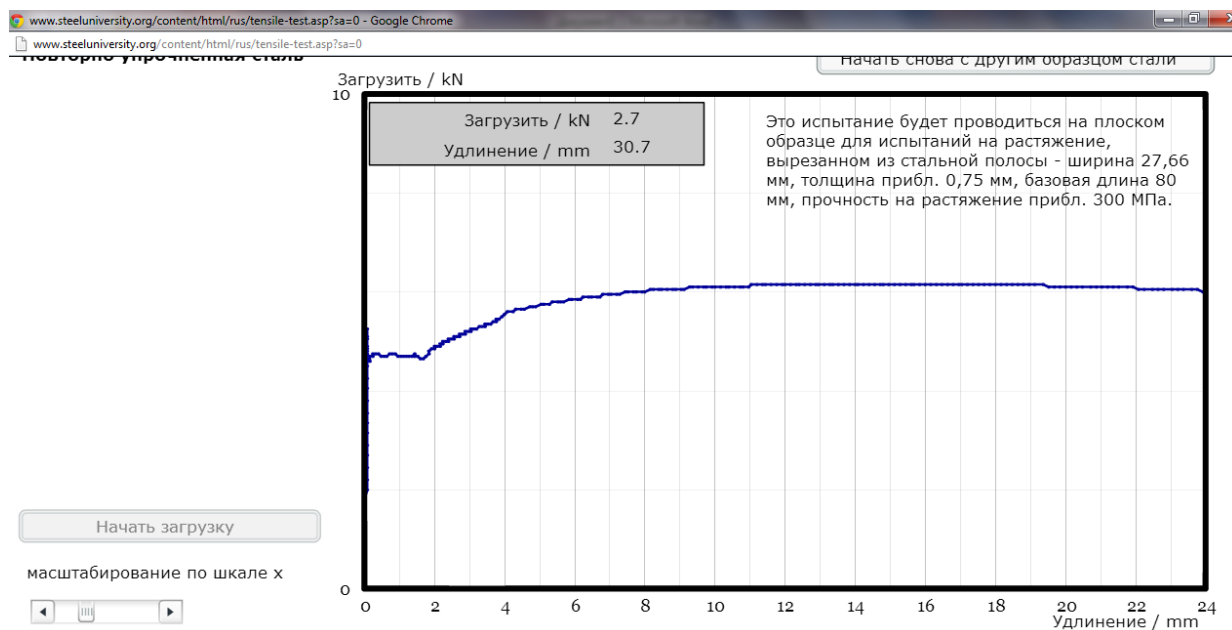
не,  $e = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$ . Истинная деформация отчасти похожа на условную, но основывается на "мгновенной" длине образца по мере проведения испытания,

$\epsilon = \ln\left(\frac{L_i}{L_0}\right)$ , где  $L_i$  - "мгновенная" длина, а  $L_0$  - начальная длина.

#### 1.1.2 Предельное напряжение при растяжении

Одним из определяемых свойств материала является предельное напряжение при растяжении. Это максимальная нагрузка, которую выдерживает образец при испытании. Предельное напряжение при растяжении может быть, а может и не быть равным пределу прочности при растяжении. Все зависит от типа испытываемого материала: он может быть хрупким, вязким или хрупко-вязким. Иногда материал может быть вязким при лабораторном испытании, однако в других условиях и под воздействием экстремально холодных температур, он может перейти в хрупкое состояние.

Целью нашего исследования является получение графика, показывающего удлинение образца от нагрузки.



1. Для просмотра результатов нажмите кнопку "Начать загрузку"
2. Введите ваши результаты испытания на растяжение и проверьте, проходит ли сталь,

Высшее напряжение  
 пластического течения  МПа  
 Предел прочности  МПа  
 Удлинение  %

Низшее напряжение  
 пластического течения  МПа  
 Модуль упругости  GPa

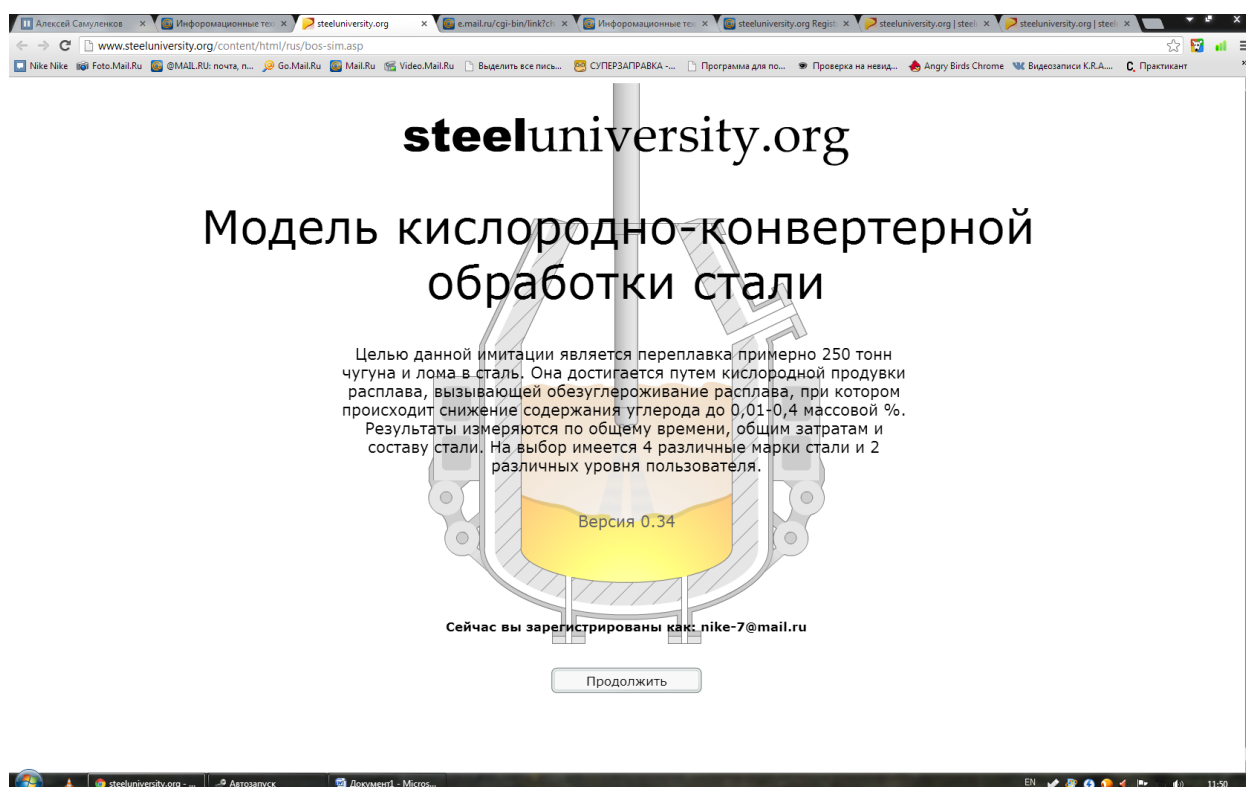
Сталь прошла испытание

Вводим полученные результаты и получаем что сталь прошла испытание на растяжение.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Модель кислородно-конвертерной обработки стали

**Цель работы:** Цель работы с моделью заключается в управлении кислородным конвертером, обработке чугуна посредством различных добавок и кислородной продувки и выпуска плавки необходимого состава в ковш с соблюдением временных и температурных ограничений.



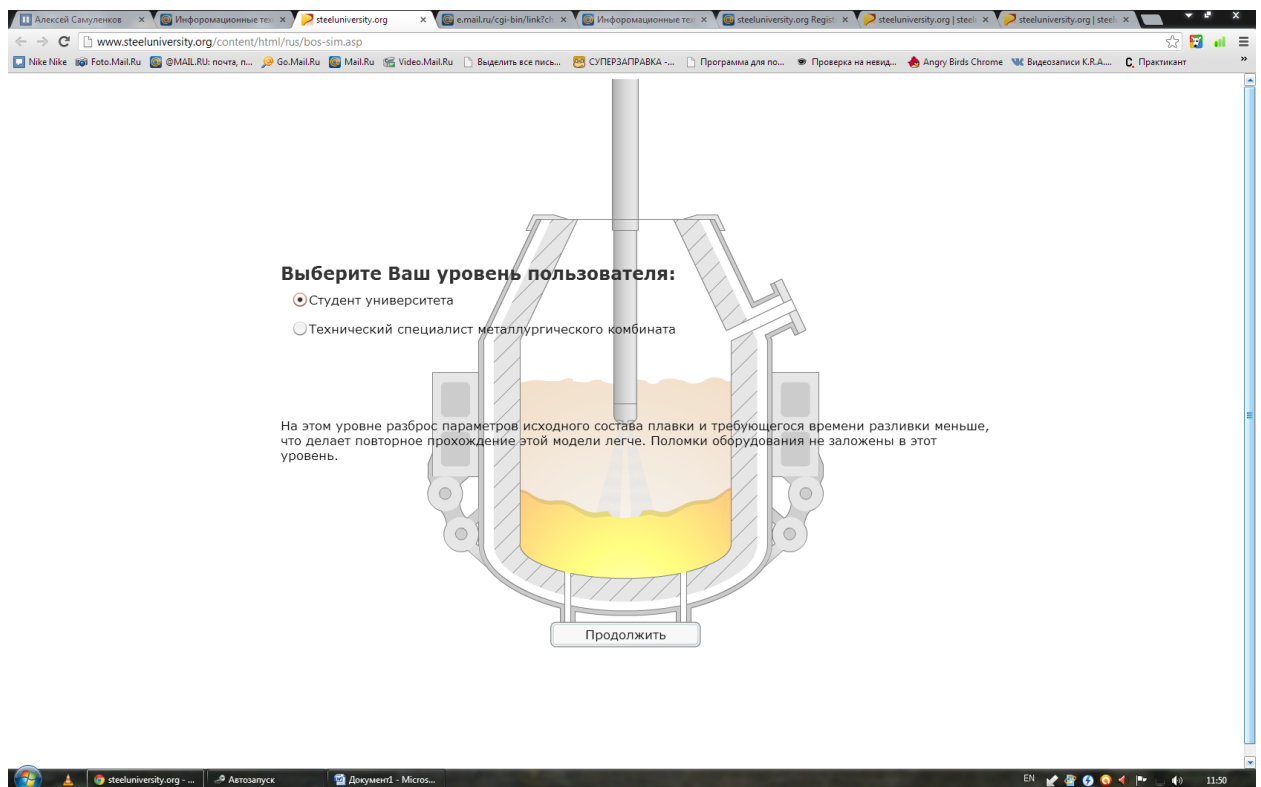
**Опции модели:** Студенческий уровень.

На этом уровне пользователь должен подойти к проблеме с научной точки зрения, используя соответствующие термодинамические и кинетические теории для принятия решений по различным технологическим опциям.

**Скорость модели**

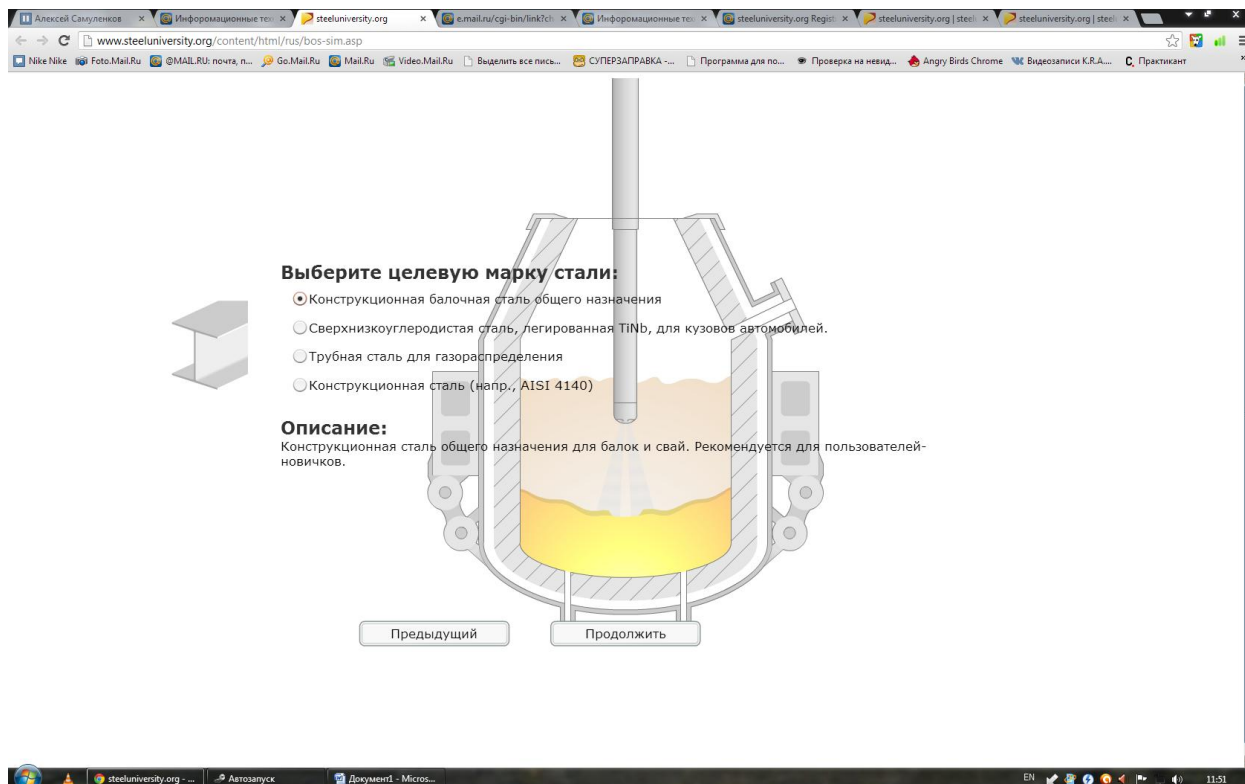
Моделирование можно осуществлять с разной скоростью – от  $\times 1$  до  $\times 32$ . Скорость можно изменять в любой момент работы с моделью. Однако

скорость будет автоматически переключаться на  $\times 1$ , когда будут происходить важные события.



**Конструкционная сталь (CON)** общего назначения– это достаточно нетребовательная марка, требующая минимальной обработки, поэтому она рекомендуется для новичков. Вашей основной целью здесь будет являться обеспечение содержания углерода от 0.1 до 0.16%.





**Таблица 5-1: Максимальное содержание различных элементов для четырех марок стали, используемых в модели / весов.%.**

Элемент	CON	ULC	LPS	ENG
C	0.16	0.01	0.08	0.45
Si	0.25	0.25	0.23	0.40
Mn	1.5	0.85	1.1	0.90
P	0.025	0.075	0.008	0.035
S	0.10	0.05	0.01	0.08
Cr	0.10	0.05	0.06	1.2
B	0.0005	0.005	0.005	0.005
Cu	0.15	0.08	0.06	0.35
Ni	0.15	0.08	0.05	0.30
Nb	0.05	0.03	0.018	0
Ti	0.01	0.035	0.01	0
V	0.01	0	0.01	0.01
Mo	0.04	0.01	0.01	0.30
Ca	0	0	0.005	0

**Таблица 5-2: Целевые температуры выпуска для четырех марок стали / °С.**

	Минимум	Максимум
CON	1630	1660
ULC	1665	1695
LPS	1655	1685
ENG	1655	1685

## Планирование работы

До начала моделирования вы должны спланировать свою работу. В-первых, вам нужно выполнить расчет теплового и материального баланса, чтобы определить количество чугуна, лома, железной руды, добавок шлака и общего объема кислорода для обезуглероживания чугуна до требуемого содержания углерода и температуры.

Затем вам нужно подумать, как получить целевые значения в заданное время.

**Вы выбрали целевую марку стали, теперь выберите соответствующее сырье**

1. Выбрать сырьевую смесь:

Сырьевой материал	Себестоимость единицы	Масса	Затраты
Жидкий чугун	\$185.00/t	200 t	\$37000
Легкий лом (скрап)	\$0.19/kg	0 kg	\$0
Тяжелый лом (скрап)	\$0.15/kg	7900 kg	\$1185
Железная руда	\$0.09/kg	20000 kg	\$1700
Известь	\$0.09/kg	0 kg	\$0
Доломит	\$0.09/kg	0 kg	\$0
<b>Итого:</b>		<b>228 t</b>	<b>\$39885</b>

Затраты на метрическую тонну: **\$192/t**

2. Выбрать температуру чугуна:  °C  
Прим.: Все прочие материалы имеют комнатную температуру, т.е. 20°C

3. Выбрать расход газа для донной продувки (N<sub>2</sub>):  Nm<sup>3</sup>/min/тонн  
Прим.: Стоимость азота: \$0.07/Nm<sup>3</sup>

Целевая марка стали: Конструкционная сталь

Element	Result	Min	Max
C*	4.331	0.1	0.16
Si*	0.385	0	0.25
Mn*	0.486	0	1.5
P	0.078	0	0.025
S*	0.020	0	0.1
Cr	0.010	0	0.1
Mo	0.005	0	0.04
Ni	0.015	0	0.15
Cu	0.001	0	0.15
N*	0	0	0
Nb	0.000	0	0.05
Ti	0.001	0	0.01

Таблица 6-2: Состав и стоимость доступных добавок.

Добавка	Состав	Стоимость / тонна
Чугун	4.5%C, 0.5%Mn, 0.4%Si, 0.08%P, 0.02%S + Fe остаток.	\$185
Легковесный лом	0.05%C, 0.12%Mn, 0.015%P, 0.015%S, 0.06%O, 0.003%Ce, 0.26%Cr, 0.02%Cu, 0.14%Mo, 0.001%Nb, 0.4%Ni, 0.001%Sn, 0.015%Ti, 0.005%V, 0.009%W + Fe остаток.	\$190
Тяжеловесный лом	0.05%C, 0.12%Mn, 0.015%P, 0.015%S, 0.06%O, 0.003%Ce, 0.26%Cr, 0.02%Cu, 0.14%Mo, 0.001%Nb, 0.4%Ni, 0.001%Sn, 0.015%Ti, 0.005%V, 0.009%W + Fe остаток.	\$150
Железная руда	99.1%FeO, 0.3%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 0.5%CaO, 0.1%MgO, 0.001%P	\$85
Известь	94.9%CaO, 1.2%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 1.8%MgO, 2.1%SiO <sub>2</sub>	\$85
Доломит	59.5%CaO, 38.5%MgO, 2%SiO <sub>2</sub>	\$85

## **Температура**

Для достижения необходимой температуры выпуска нужно учесть влияние различных добавок на температуру стали.

1. В условиях выдержки, когда подача перемешивающего газа прекращается, и продувка кислородом не осуществляется, сталь охлаждается со скоростью около 1 - 2°С мин-1.

2. Для большинства добавок, добавка одной тонны (1000 кг) приводит к

дополнительному снижению температуры примерно на 5°С.

3. Реакции окисления фосфора и кремния являются в высокой степени экзотермическими и приводят к выделению тепла в количестве около 26 МДж/т. от окисления 0.1% соответствующего элемента на каждую тонну

металла, что является эквивалентом примерно 3 °С/т. от окисления 0.1%.

4. Реакция окисления углерода также является экзотермической и приводит к

выделению тепла в количестве около 13 МДж/т. от окисления 0.1% соответствующего элемента на каждую тонну металла, что является эквивалентом примерно 1.4 °С/т. от окисления 0.1%.

5. Для увеличения чугуна или стали необходимо 9.0 или 9.4 МДж/т., соответственно.

Рассчитав общее время от завалки до выпуска стали из конвертера возможно составить график зависимости температуры от времени.

## **Этапы процесса кислородной продувки**

Кислородно-конвертерный процесс обычно включает следующие три реакционных периода: окисление кремния, полное обезуглероживание и диффузию углерода.

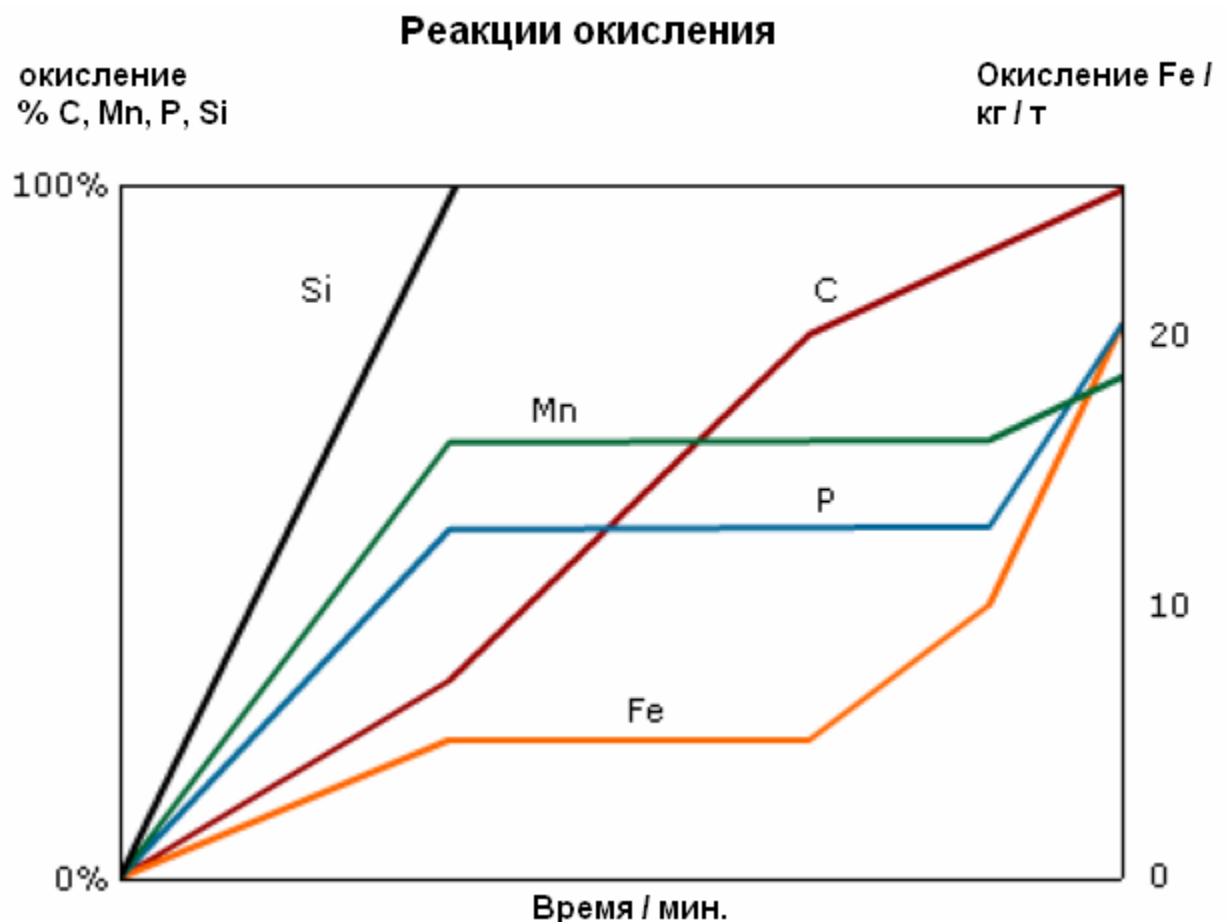
### **Период окисления кремния**

В течение первой трети (приблизительно) продувки окисляется большая часть Si, а также некоторая часть Fe. Хорошей практикой является увеличение содержания FeO для наведения пенящегося шлака в самом начале продувки, и затем его стабилизация путем опускания фурмы, пока пена не перестанет подниматься.

В течение этого периода происходит окисление основного количества P и Mn. Остаток введенного в расплав кислорода вступает в реакцию с углеродом.

## Период полного обезуглероживания

При нормальных условиях весь введенный в расплав кислород вступает в реакцию с углеродом. Однако если фурма расположена слишком высоко, часть кислорода вступает в окислительные реакции с Fe. С другой стороны, если фурма опущена слишком низко, ранее образовавшийся FeO (пенящийся шлак) восстанавливается, и высвободившийся кислород вступает в реакцию с C.



## Период диффузии углерода

В конце продувки содержание углерода составляет менее 0.8%С, скорость обезуглероживания значительно снижается, и теперь все более ограничивается диффузией углерода в стали.

## Управление в процессе работы с моделью

После начала работы с моделью вы можете вывести на экран и/или воспроизвести различные источники информации, нажав на соответствующую клавишу; клавиши указаны в меню в нижнем левом углу экрана. Используются следующие клавиши:

**A:** Добавка легирующих материалов

**C:** Просмотреть состав стали в зависимости от времени

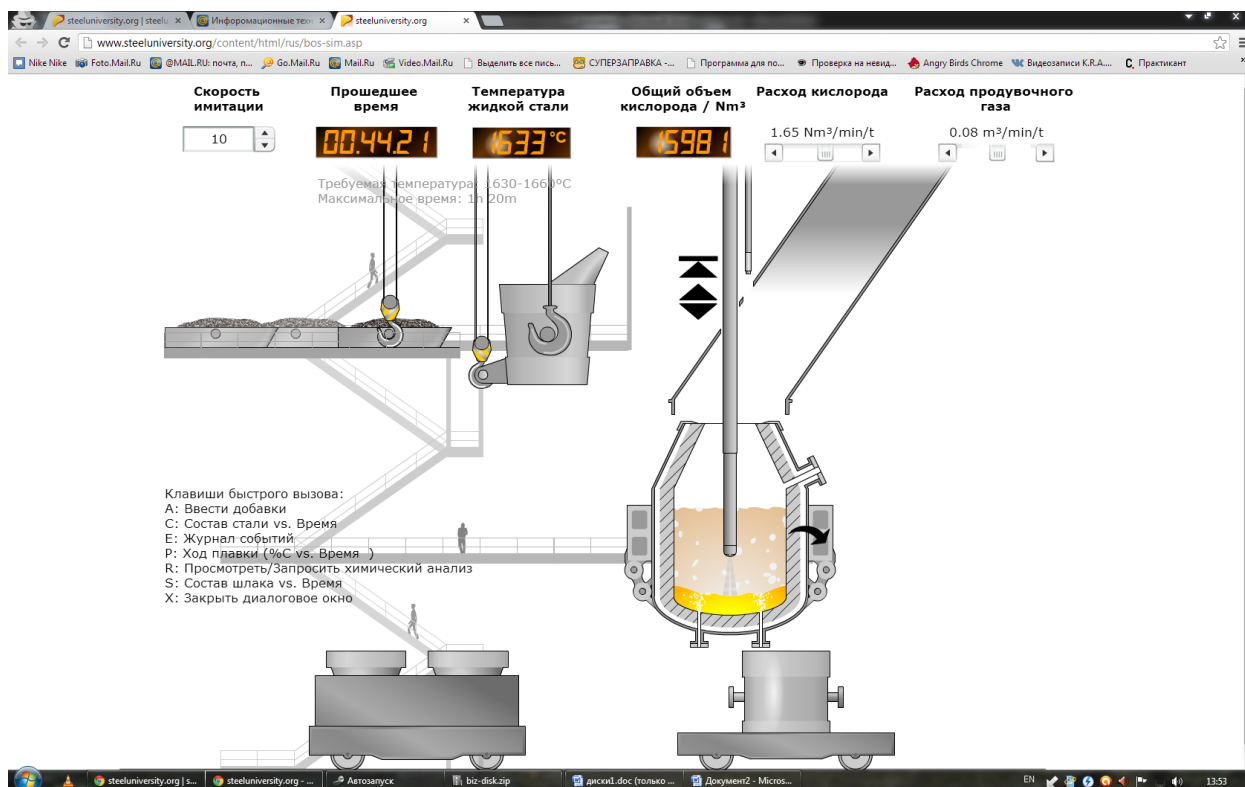
**E:** Журнал регистрации событий

**P:** Просмотреть технологический маршрут плавки (%C в зависимости от времени)

**R:** Просмотреть / запросить анализ

**S:** Просмотреть состав шлака в зависимости от времени

**X:** Закрыть диалоговые окна



## Результаты моделирования

После выпуска стали из конвертера работа с моделью завершается, отображаются результаты плавки, а также общие производственные затраты (в \$ на тонну).

**Резюме результатов:**

**Установки модели:**  
Уровень Пользователя: Студент университета  
Марка Стали: Конструкционная сталь

**Данные успешно сохранены**

	Заданный	Фактический	
Конечный химический состав стали		Посмотреть анализ	✓
Конечный химический состав шлака		Посмотреть анализ	
Общее время / минуты	1Н:20М	1Н:13М	✓
Температура выпуска / °C	1630-1660 °C	1640 °C	✓

Посмотреть журнал событий

**Разбивка затрат:**

Жидкий чугун	\$37000
Добавки	\$1746.75
Прочие расходные материалы	\$3659
Общие затраты	\$42406 (\$281.46/t)

## Сертификат

Настоящим удостоверяем, что:

**Куприенко Николай Сергеевич, студент "НИТУ" МИСиС**

завершил имитацию кислородно-конвертерного производства стали со следующими результатами  
Уровень Пользователя: Студент университета  
Марка Стали: Конструкционная сталь  
Общие затраты: 42406  
Затраты на метрическую тонну: 281.46

*Rizwan Janjua*  
Rizwan Janjua  
Руководитель проекта

Tue Nov 13 12:31:16 GMT+0400 2012

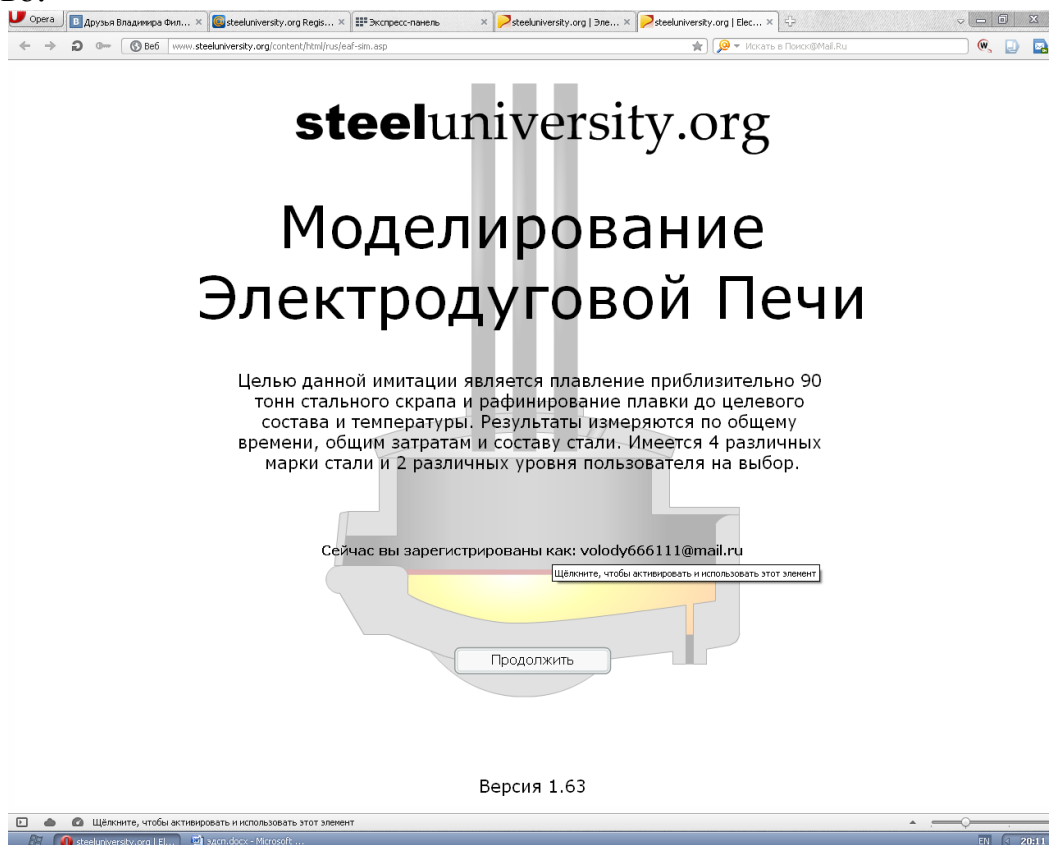
Cert No. BOS-1352795476221.35

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Моделирование электродуговой печи

**Цель работы:** Цель работы с моделью заключается в том, чтобы отобрать и расплавить лом в ЭДП с достижением целевого состава выбранной марки стали, и осуществить выпуск металла с соблюдением необходимых временных и температурных пределов.

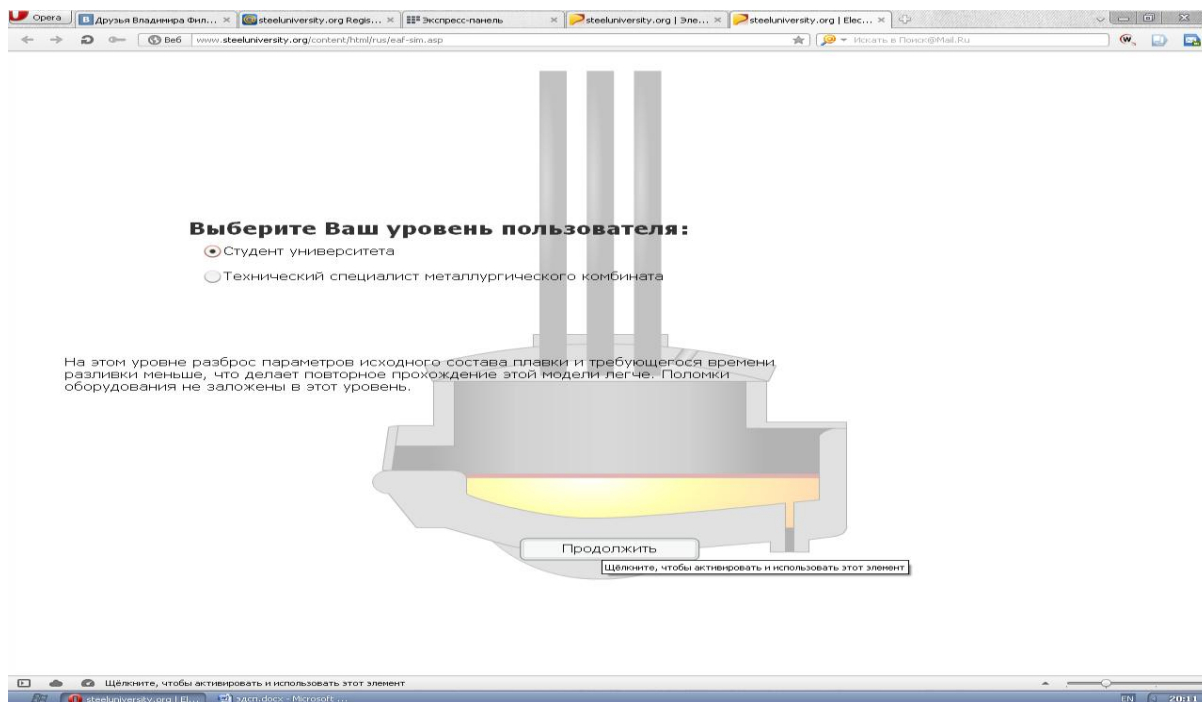
Также вы должны стремиться свести к минимуму затраты на производство.



### Опции модели

#### Скорость модели

Моделирование ЭДП можно осуществлять с разной скоростью – от  $\times 1$  до  $\times 32$ . Скорость можно изменять в любой момент работы с моделью. Увеличение скорости может быть удобно на определенных этапах работы. Однако некоторые операции требуют тщательного внимания, поэтому эту опцию нужно использовать осторожно.

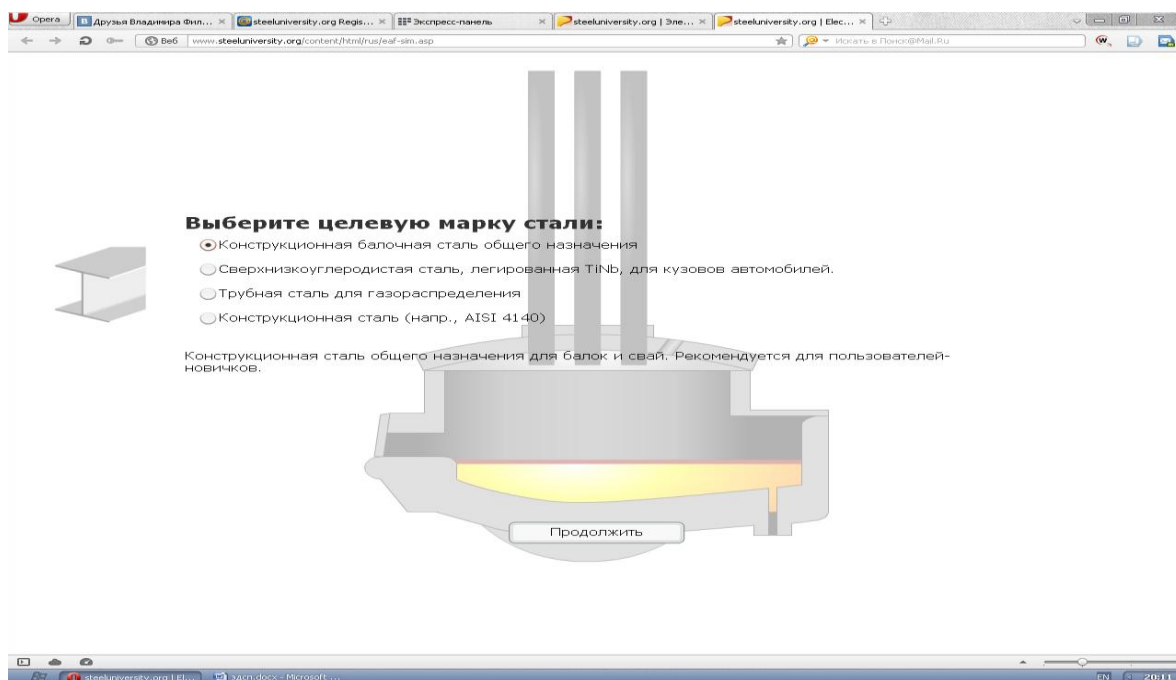


**Конструкционная сталь** общего назначения – это достаточно нетребовательная марка, требующая минимальной обработки, поэтому она рекомендуется для новичков. Вашей основной целью здесь будет являться обеспечение необходимых уровней легирующих добавок.

Таблица 4-1 Целевой состав для четырех марок стали, используемых в модели ЭДП.

	Конструкционная сталь		Сверхнизкоуглеродистая сталь TiNb		Трубопроводная сталь		Машиностроительная сталь	
	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
C	0.10	0.130	0.05	0.10	0.040	0.060	0.30	0.45
Si	0.10	0.50	0.15	0.50	0.10	0.30		0.50
Mn	1.00	1.50	0.65	1.20	0.90	1.30	0.60	1.20
P		0.025	0.055	0.075		0.008		0.035
S		0.10		0.050		0.010		0.080
Cr		0.10		0.050		0.060		1.2
Al				0.055		0.035		0.030
B		0.0005		0.005		0.005		0.005
Cu		0.15		0.080		0.060		0.35
Ni		0.15		0.080		0.050		0.30
Nb		0.050		0.030		0.018		
Ti		0.010		0.035		0.010		
V		0.010				0.010		0.010
Mo		0.040		0.010		0.010		0.30





## Планирование работы

До начала моделирования вы должны составить спланировать свою работу. Моделирование ЭДП состоит из трех визуальных этапов. На первых двух этапах вы подготовите материалы для производства выбранной марки стали, а на третьем, заключительном этапе вы будете осуществлять плавление своих материалов и рафинирование для доводки до целевого состава.

1. Выбор марки стали и смешивание различных видов металлолома таким образом, чтобы получить целевой состав

2. Загрузка выбранных материалов в корзины (бадью)

3. Завалка, расплавление и рафинирование в электродуговой печи

Завалка лома в печь при помощи корзин

Нагрев и расплавление лома

Добавление легирующих и шлакообразующих смесей

Вдувание углеродсодержащих материалов и кислорода для вспенивания шлака

Контроль над оборудованием

Выпуск металла

## Подготовка лома

В начале работы вам предложат список со списком десять различных видов лома. Их названия соответствуют стандартам США – международного стандарта для классификации лома нет. Каждый из этих видов обладает такими свойствами, как состав, объемная плотность, форма и стоимость. В нашей модели фактический состав варьируется в пределах  $\pm 5\%$  по каждому элементу, содержащемуся в материале.

Лом	Средний состав / весовой %	Объемная плотность / кг м <sup>-3</sup>	Форма*	Стоимость / тонна
Тяжеловесный лом №1	0.025 %C, 0.017 %Si, 0.025 %P, 0.033 %S, 0.2 %Cr, 0.15 %Ni, 0.03 %Mo +Fe остаток.	0.85	КЛ	\$160
Тяжеловесный лом №2	0.03 %C, 0.022 %Si, 0.028 %P, 0.035 %S, 0.26 %Cr, 0.18 %Ni, 0.03 %Mo +Fe остаток.	0.75	КЛ	\$140
Внутризаводской низколегированный лом	0.17 %C, 0.04 %Si, 0.31 %Mn, 0.013 %P, 0.0014 %S, 0.26 %Cr, 0.4 %Ni, 0.001 %Nb,	3.0	КЛ	\$240
	0.015 %Ti, 0.005 %V, 0.14 %Mo +Fe остаток.			
Толстолистовой и конструкционный лом	0.25 %C, 0.25 %Si, 1.0 %Mn, 0.025 %P, 0.025 %S, 0.15 %Cr, 0.05 %Mo, 0.15 %Ni, 0.22 %Sn +Fe остаток.	2.0	КЛ	\$290
Внутризаводской лом нержавеющей стали	0.015 %C, 0.33 %Si, 1.64 %Mn, 0.014 %P, 0.002 %S, 18.32 %Cr, 8.08 %Ni, 0.01 %Nb, 0.004 %Ti, 0.01 %V, 1.3 %Mo, 0.16 %N +Fe остаток.	3.0	КЛ	\$330
Бунты №1	0.027 %C, 0.012 %Si, 0.12 %Mn, 0.01 %P, 0.006 %S, 0.032 %Cr, 0.02 %Ni, 0.001 %Ti +Fe остаток.	1.2	МЛ	\$180
Бунты №2	0.04 %C, 0.016 %Si, 0.12 %Mn, 0.014 %P, 0.008 %S, 0.04 %Cr, 0.03 %Ni, 0.0014 %Ti +Fe остаток.	1.1	МЛ	\$170
Железо прямого восстановления	2.4 %C, 0.1 %P, 0.01 %S, 0.02 %Ti, 0.03 %Nb, 0.02 %V +Fe остаток.	1.65	МЛ	\$220
Дробленый лом	0.03 %C, 0.015 %Si, 0.02 %P, 0.03 %S, 0.12 %Cr, 0.1 %Ni, 0.02 %Mo +Fe остаток.	1.5	ОМЛ	\$200
Мелкая обрезь №1	0.03 %C, 0.01 %Si, 0.02 %P, 0.02 %S, 0.08 %Cr, 0.06 %Ni, 0.01 %Mo +Fe остаток.	1.5	ОМЛ	\$210

\* КЛ = Крупный лом, МЛ = Мелкий лом, ОМЛ = Очень мелкий лом

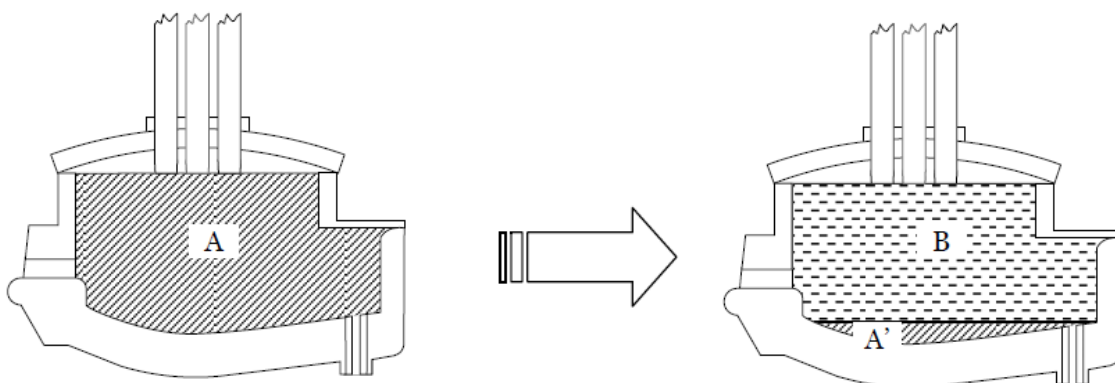
## Загрузка лома в корзины

После выбора лома и перехода на следующий этап, вы должны распределить лом по трем имеющимся корзинам. Учтите следующее:

Объем печи = 40 м<sup>3</sup>

Содержимое каждой корзины должно расплавляться последовательно, чтобы наиболее эффективно использовать емкость печи.

Ограничение по объему для первой корзины соответствует ограничению по объему печи (А на Рис. 6-2). Так как плотность жидкой стали гораздо выше объемной плотности лома, содержимое корзины значительно уменьшится в объеме после расплавления, за счет чего останется место для лома, загружаемого второй и третьей корзиной. Так как определенный объем печи будет занят расплавом из первой корзины, ограничения по объему для второй и третьей корзин определяются нетто-емкостью печи, т.е. [А – А' = В].



### Выберите марку стали и определите свой состав скрапа

Сырьевой материал	Себестоимость единицы \$/t	Масса t	Объем м³	Затраты \$
№ 1 Тяжелый	160	1	1	160
№ 2 Тяжелый	140	0	0	0
Внутренний Низколегированный	240	4	1	960
Толстолистовой и Конструкционный	290	6	3	1740
№ 1 Пачки	180	16	13	2880
№ 2 Пачки	170	26	22	4420
Чугун Прямого Восстановления	220	1	1	220
Дробленый Очищенный	200	36	24	7200
Токарная Стружка	110	0	0	0
Сор ЭДП	-120	0	0	0
<b>Итого:</b>		<b>90</b>	<b>65</b>	<b>17580</b>

**= \$196/t**

Выберите целевую марку стали: Конструкционная сталь

Element	Result	Min	Max
C*	0.077	0.1	0.12
Si*	0.031	0.1	0.3
Mn*	0.137	1	1.5
P	0.017	0	0.02
S*	0.018	0	0.03
Cr	0.089	0	0.1
Mo	0.018	0	0.04
Ni	0.082	0	0.15
Cu	0.079	0	0.15
N*	0	0	0.005
Nb	0.000	0	0.05
Ti	0.001	0	0.01

\*) Показывает элементы, которые являются (частично) извлекаемыми во время последующего моделирования вторичной металлургии.

Масса %

Buttons: Сброс, Предыдущий, Продолжить

Opera | Друзья Владимира Фил... | steeluniversity.org Regis... | Экспресс-панель | steeluniversity.org | Эле... | steeluniversity.org | Elec... | Искать в Поиск@Mail.Ru

### Склад скрапа

Загрузите выбранный вами материал в 3 корзины по порядку. Подумайте об ограничениях по объему и количеству грубого скрапа в каждой корзине. Щелкните на следующей корзине, чтобы начать ее загрузку. Отметьте, что как только вы оставите корзину, вы не сможете вернуться, чтобы изменить ее содержимое.

Бункеры для скрапа

№ 1 Тяжелый 0 t / 0 м³	№ 2 Тяжелый 0 t / 0 м³	Внутренний Низколегированный 0 t / 0 м³	Толстолистовой и Конструкционный 0 t / 0 м³	№ 1 Пачки 0 t / 0 м³
Грубый скрап 0.85 t/m³	Грубый скрап 0.75 t/m³	Грубый скрап 3 t/m³	Грубый скрап 2 t/m³	Мелкий скрап 1.2 t/m³
№ 2 Пачки 0 t / 0 м³	Чугун Прямого Восстановления 0 t / 0 м³	Дробленый Очищенный 0 t / 0 м³	Токарная Стружка 0 t / 0 м³	Сор ЭДП 0 t / 0 м³
Мелкий скрап 1.2 t/m³	Мелкий скрап 1.65 t/m³	Очень мелкий скрап 1.5 t/m³	Очень мелкий скрап 1 t/m³	Порошок 0.9 t/m³

Передаточная масса / t: 33

Корзины для загрузки скрапа

Корзина	Текущий объем: м³	Предел объема: м³
#1	23	36
#2	20	32
#3	22	32

Общая стоимость / \$: 17580

Buttons: Продолжить

Opera | steeluniversity.org | El... | эдсм.docx - Microsoft ... | EN | 20:17

## Эксплуатация печи

Сейчас мы переходим к работе с электродуговой печью. Как упомянуто во введении, шлак играет важную роль в процессе. Таким образом, на этом этапе в печь также присаживают шлакообразующие смеси. Корзины одна за другой разгружаются в ЭДП, где осуществляется плавление лома.

### Завалка печи

При помощи крана поднимайте корзины и подавайте их к печи. Убедитесь, что свод печи поднят. Когда корзина будет наверху печи, нажмите на иконку дверцы на корзине, чтобы выгрузить ее содержимое в печь. Уберите кран / корзину, затем закройте свод.

Остальные корзины загружаются по тому же принципу.

### Электроды

Электроэнергия распределяется между тремя электродами, лом плавится за счет электрических дуг, образующихся между электродами и ломом. В процессе работы печи происходит износ электродов. Необходимо корректировать их положение, чтобы все три электрода постоянно находились в контакте с материалом, это обеспечивает эффективную передачу энергии.

## Настройки отводов трансформатора

Существует четыре настройки отводов:

<b>Настройка отводов и соответствующие виды мощности. Настройки отводов</b>	<b>Уровень мощности</b>
0	0 МВт
1	75 МВт
2	90 МВт
3	105 МВт
4	120 МВт

## Добавки

В течение всего процесса плавления и рафинирования вы можете добавлять материалы - для увеличения содержания легирующих, раскисления стали, десульфурации стали или увеличения массы шлака.

### **Плавление и рафинирование ШЛАКООБРАЗУЮЩИЕ СМЕСИ**

Такие свойства шлака, как вязкость, способность к удалению серы, фосфора и др. зависят от состава и температуры.

Некоторые оксиды металлов в шлаке являются кислыми, поэтому добавление основных ШОС способствует поддержанию основности шлака на должном уровне. Высокая основность шлака (т.е. высокое отношение содержания оксида кальция к оксиду кремния) также способствует удалению фосфора, однако необходимо соблюдать осторожность и не перенасыщать шлак известью, так как это приведет к повышению его вязкости и снижению эффективности.

**Таблица 7-2. Список добавок, присаживаемых в печь во время плавнения и рафинирования.**

Добавки	Состав	Объемная плотность/ т м <sup>-3</sup>	Форма	Стоимость/ тонна
Al	99.15 %Al, 0,82 %Fe, 0.03 %Cu	2.4	Кусковая	\$1400
Углерод	99.9 %C, 0.011 %S	1	Порошковая	\$280
Cr-карбид	7.82 %C, 0.23 %Si, 0.021 %P, 0.051 %S, 70.11 %Cr, 0.0092 %Ti	3.5	Кусковая	\$590
Cr-карбид (низк. S)	8.12 %C, 0.34 %Si, 0.017 %P, 0.024 %S, 69.92 %Cr	3.5	Кусковая	\$660
Доломит	38.5 %MgO, 2 %SiO <sub>2</sub> , 0.005 %P, 0.15 %S + CaO остаток.	1	Порошковая	\$120
Пыль ЭДП	20.03 %Cr, 11.2 %Ni, 4.44 %Mn, 0.91 %Si, 0.019 %P, 0.003 %Ti, 0.001 %S + Fe остаток .	0.9	Порошковая	\$-120
FeMn, высоко-угерод.	76.5 %Mn, 6.7 %C, 1.0 %Si, 0.03 %S, 0.3 %P + Fe остаток .	4.0	Кусковая	\$350
FeMn, низко-угерод.	81.5 %Mn, 0.85 %C, 0.5 %Si, 0.1 %S, 0.25 %P + Fe остаток .	4.0	Кусковая	\$600
FeMo	0.044 %C, 0.14 %Si, 0.044 %P, 0.092 %S, 62.02 %Mo + Fe остаток	6	Кусковая	\$16800
FeSi75	0.08 %C, 60.3 %Si, 0.014 %P, 0.002 %S, 1.23 %Al, 0.05 %Ti + Fe остаток .	2.5	Кусковая	\$700
FeSi75 (низк. Ti)	0.008 %C, 75.6 %Si, 0.003 %P, 0.024 %Al, 0.014 %Ti + Fe остаток	2.5	Кусковая	\$840
FeV	0.25 %C, 0.72 %Si, 0.031 %P, 0.081 %S, 1.23 %Al, 78.82 %V + Fe остаток .	3.5	Кусковая	\$8400
Плавиновый шпат	20 %CaO, 20 %MgO, 20 %SiO <sub>2</sub> , 0.001 %P, 0.06 %S + CaF <sub>2</sub> остаток.	1	Порошковая	\$180
Оксид железа	0.3 %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 0.5 %CaO, 0.1 %MgO, 0.001 %P + FeO остаток .	1.8	Порошковая	\$140
Известь	1.2 %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 1.8 %MgO, 2.1 %SiO <sub>2</sub> , 0.01 %P, 0.01 %S + CaO остаток .	1	Порошковая	\$120
Прокатная окалина	0.65 %C, 0.4 %Si, 0.61 %Mn, 0.019 %P, 0.002 %S, 0.2 %Cr, 0.25 %Ni, 0.05 %V, 0.1 %Mo + Fe остаток.	1.6	Порошковая	\$0
SiC	30 %C, 70 %Si	1.5	Кусковая	\$610
SiCr	1.82 %C, 25.33 %Si, 0.014 %P, 0.015 %S, 38.23 %Cr + Fe остаток.	3.5	Кусковая	\$940
Токарная стружка	0.03 %P, 0.113 %S, 0.698 %Cr, 0.538 %Mo + Fe остаток.	1	Очень мелкий лом	\$110

## **Вдувание углеродсодержащих материалов и кислорода**

Во время и после расплавления материалов некоторые соединения и элементы начинают вступать в реакции друг с другом. Чтобы обеспечить необходимое количество соответствующих элементов в стали, этим реакциям можно способствовать за счет вдувания кислорода в стальную фазу через фурму.

По одной из реакций образуется окись углерода (СО), которая крайне важна для вспенивания шлака. При вдувании углеродсодержащих материалов в шлаковую фазу через фурму и его реакции с кислородом образуются пузырьки СО. Эти пузырьки затем вызывают вспенивание шлака. Вспененный шлак защищает ванну стали от контакта с атмосферой, а также способствует увеличению электрического КПД, покрывая электрические дуги от электродов, и эксплуатации печи на высоких мощностях без риска повреждения стенок и свода печи. Покрытие дуги шлаком также предотвращает контакт азота с дугой, при подобном контакте может произойти диссоциация азота и его переход в сталь.

В этой модели используются следующие затраты на вдувание углеродсодержащих материалов и кислорода:

Возможный расход углерода: 50-150 кг/мин

Стоимость: \$0.28 за кг

Возможный расход кислорода: 100-150 нм<sup>3</sup>/мин

Стоимость: \$0.10 за нм<sup>3</sup>

### **Удаление фосфора и серы**

К сожалению, условия, благоприятные для удаления фосфора, прямо противоположные условиям для удаления серы. Кроме того, даже после перехода этих элементов в шлаковую фазу они могут перейти обратно в сталь.

#### *Фосфор*

Способность шлака к удержанию фосфора зависит от температуры и кислородной активности стали, а также основности и содержания FeO в шлаке. При высоких температурах и низком содержании FeO фосфор переходит из шлака обратно в жидкую сталь. Следовательно, его удаление обычно производится на начальных этапах обработки плавки, когда температура еще низкая.

#### *Сера*

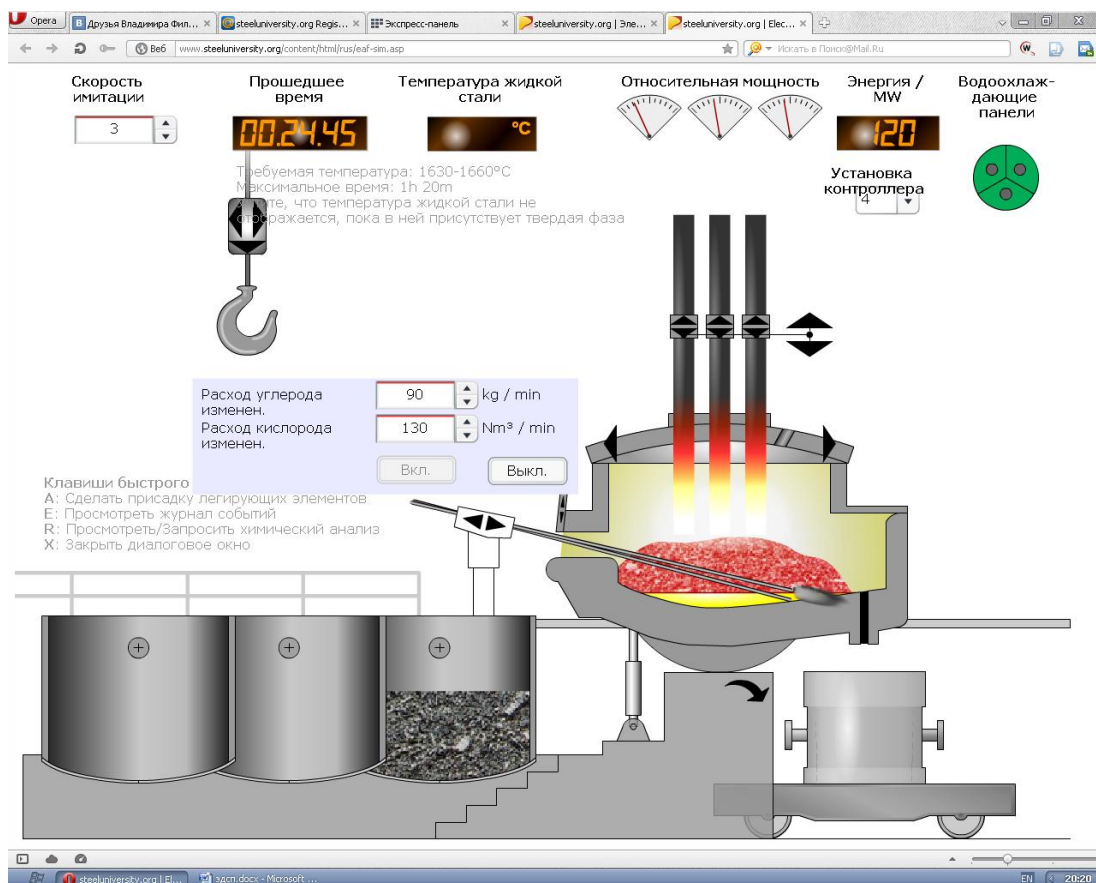
Чтобы удалить серу из жидкой стали, необходимо использовать сульфидообразующее вещество, такое как соединение кальция. Реакции образования сульфидов проходят в восстановительной атмосфере, при низком со-

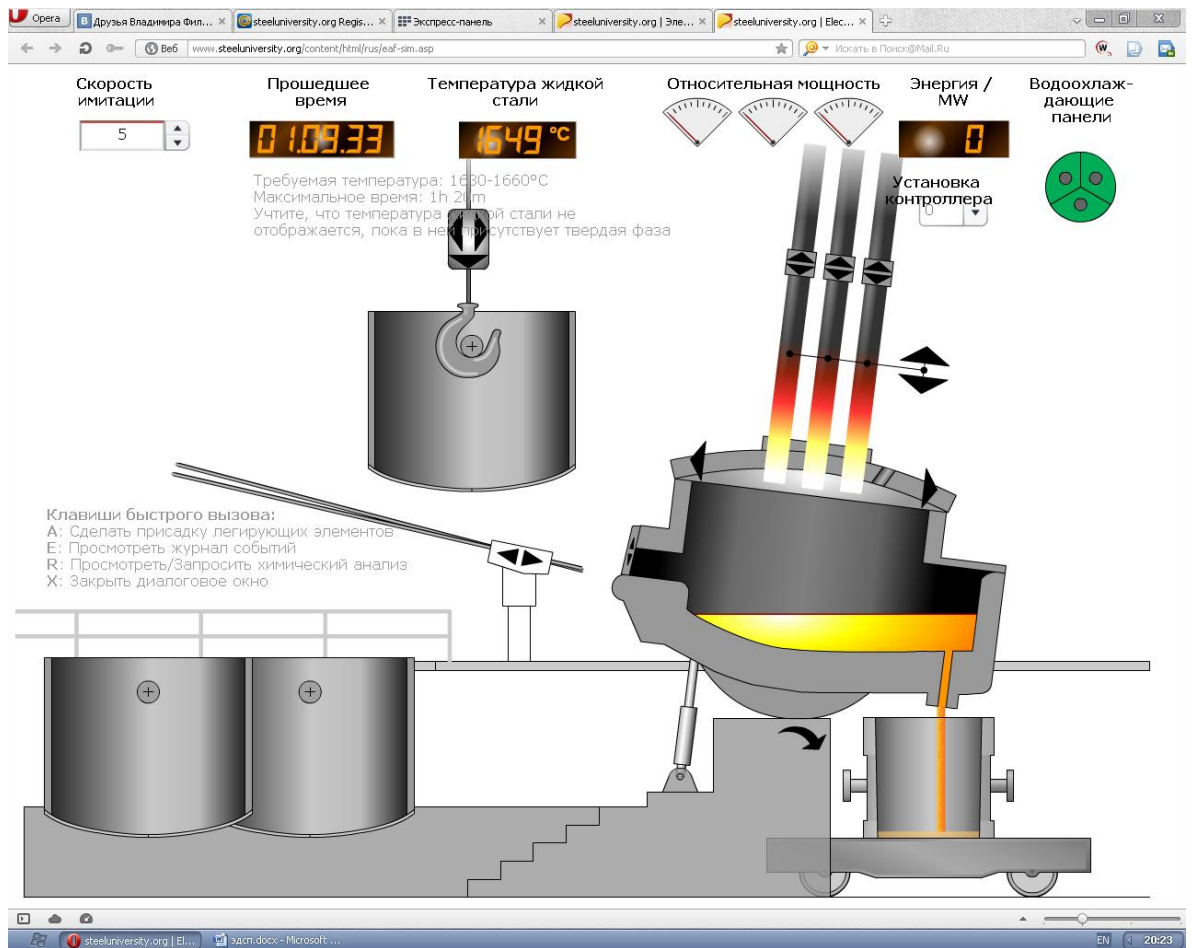


держании кислорода, высокой массе шлака и высокой температуре. Эти условия характерны для завершающих этапов плавки.

## Выпуск плавки

Выпуск плавки можно начать, нажав кнопку поворота под печью. Выпуск плавки в ковш является завершающим этапом работы с моделью. По завершении выпуска металла, т.е. когда в печи стали больше не останется, вы автоматически перейдете на экран результатов.





## Обзор результатов

**Резюме результатов:**

Установки модели:  
 Уровень Пользователя: Студент университета  
 Марка Стали: Конструкционная сталь

Successfully saved data

	Заданный	Фактический	
Конечный химический состав стали			Щелкнуть для просмотра анализа ✓
Конечный химический состав шлака			Щелкнуть для просмотра анализа
Общее время / минуты	1h:20m	1h:11m	✓
Температура выпуска / °C	1630-1660 °C	1649 °C	✓
Вес выпуска / kg		89904	
Электрическая энергия	34084 kWh	379 kWh/t	Щелкнуть для просмотра изменения состава
			Щелкнуть для просмотра журнала

Разбивка затрат:

Энергия	\$19428
Скrap	\$17580
Добавки	\$0
Прочие расходные материалы	\$881.56623
Общие затраты	\$37889 (\$421.44/t)

## Сертификат

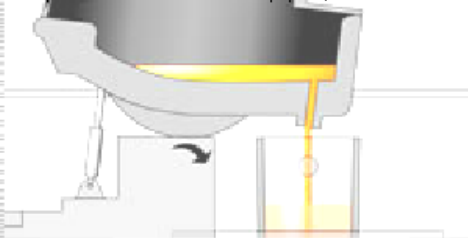
Настоящим удостоверяем, что:

**Филимошкин Владимир Михайлович, студент НИТУ "МИСиС"**

завершил моделирование ЭДП со следующими результатами:

Уровень Пользователя: Студент университета

Марка Стали: Конструкционная сталь



*Rizwan Janjua*

Rizwan Janjua  
Руководитель проекта

Thu Nov 15 20:23:59 GMT+0400 2012

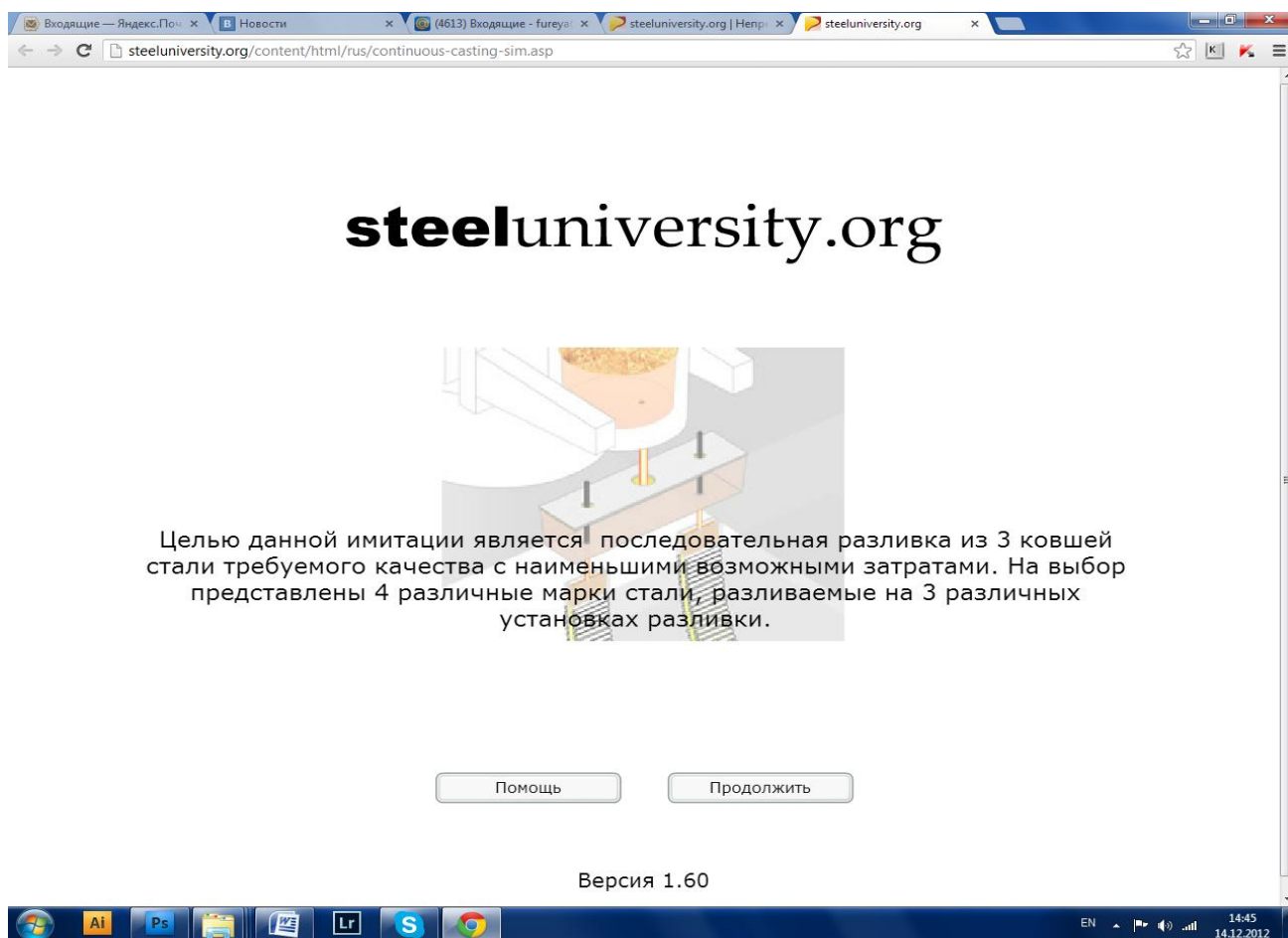
Cert No. EAF-1352996639971

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Динамическая модель непрерывной разливки стали

**Цель работы:** Задача динамической модели – успешно произвести последовательную разливку трех ковшей, соблюдая установленные критерии качества поверхности, внутреннего качества и содержания включений.

Кроме того, нужно стремиться минимизировать затраты на проведение этой операции.



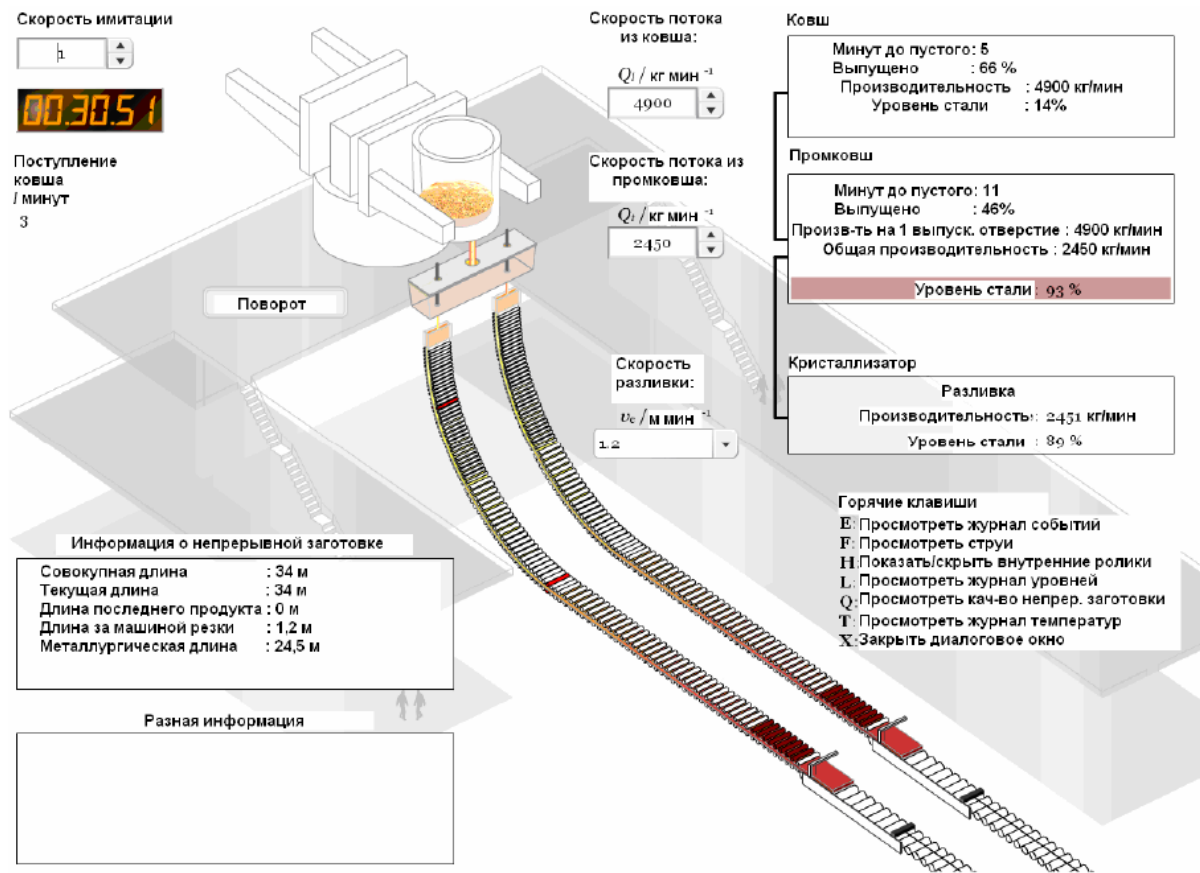
**steeluniversity.org**

Целью данной имитации является последовательная разливка из 3 ковшей стали требуемого качества с наименьшими возможными затратами. На выбор представлены 4 различные марки стали, разливаемые на 3 различных установках разливки.

Помощь      Продолжить

Версия 1.60




## Расположение оборудования цеха и описание



## Размеры разливочных машин

В динамической модели представлены три разных разливочных машины для разливки четырех разных марок стали. Это машины разливки слябов, блюмов и заготовок. В таблице ниже перечислены свойства разных разливочных машин.

Таблица 5-1 Таблица свойств разливочных машин

Тип	Сляб	Блюм	Заготовка
Марки стали	Сталь для трубопроводов Сверхнизкоуглеродистая сталь	Конструкционная сталь	Машиностроительная сталь
Размер ковша / метрических тонн	250	100	100
Радиус / м	9	12	8
Количество ручьев	2	5	6
Скорость разливки / м мин <sup>-1</sup>	1.0-2.0	1.2 - 1.8	3 - 5
Сечение / мм	1200 × 230 	250 × 250 	130 × 130 
Типичное использование	Плоская продукция, т.е., толстый лист, тонкий лист, рулон	Сортовая продукция, т.е., прутки, балки, сваи	Сортовая продукция, т.е., прутки, швеллер, проволока
Шаг роликов, секция I / мм	202 (35 роликов 45°)		
Шаг роликов, секция II / мм	283 (25 роликов 45°)		
Радиусы загиба/разгиба / м	R <sub>56</sub> =9, R <sub>57</sub> =11.3, R <sub>58</sub> =15, R <sub>59</sub> =22.6, R <sub>60</sub> =45.2		

## Опции

Перед началом моделирования важно все спланировать заранее. Первое – надо выбрать скорость разливки, которая позволит разлить сталь, соблюдая все критерии качества. Второе – для качества поверхности важно выбрать правильные настройки качания кристаллизатора. И, наконец, нужно наметить температуру жидкой стали и поступление второго и третьего ковша.

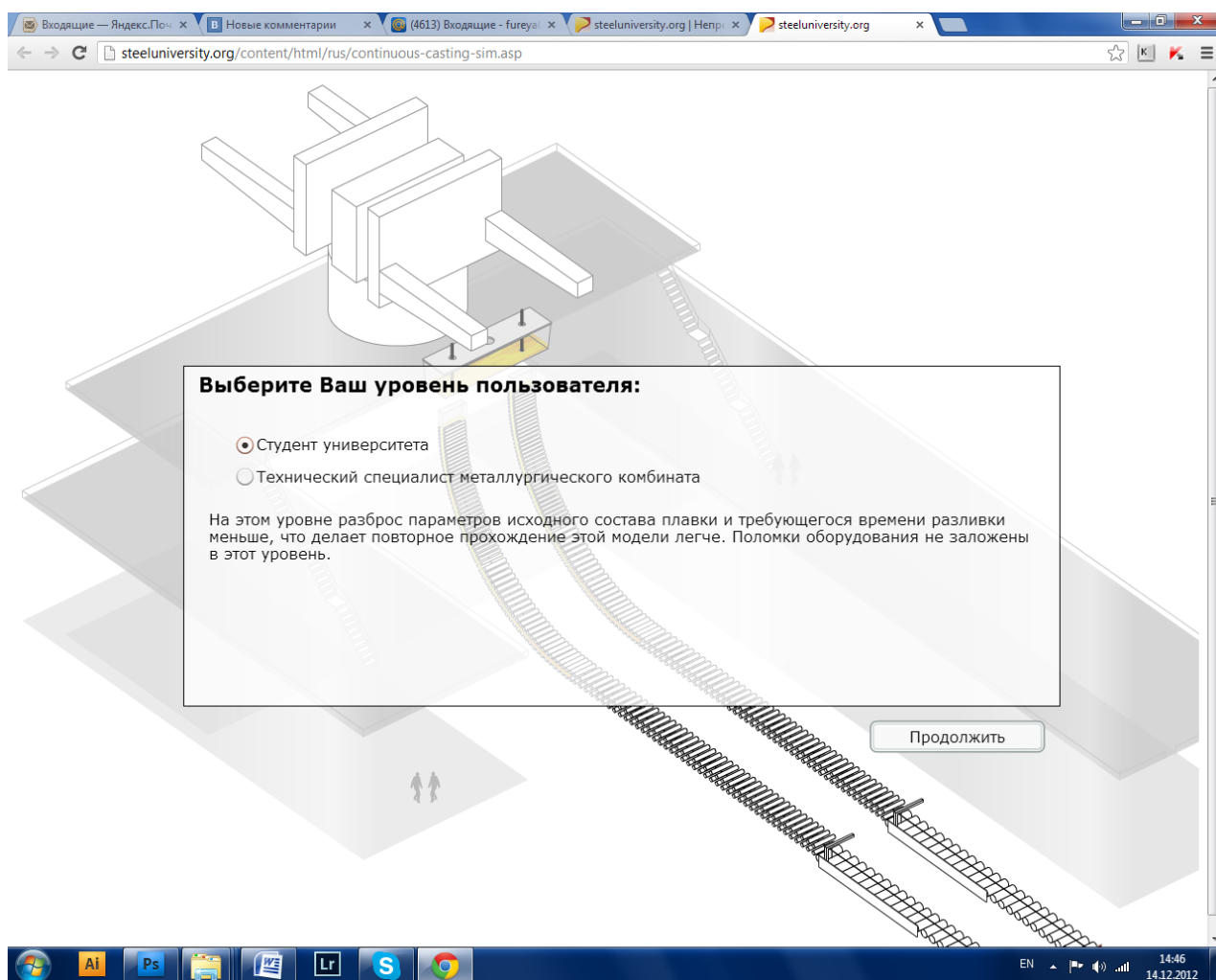
В этом разделе представлены ключевые научные теории и отношения, требующиеся для успешного моделирования. Он ни коим образом не был задуман как всестороннее рассмотрение теории непрерывной разливки или практика – за этим приглашаем пользователя обратиться к другим прекрасным публикациям.

## Студенческий уровень

Этот уровень предполагает научный подход пользователя к проблеме, использование релевантных термодинамических и кинетических теорий для принятия решений по различным вариантам обработки.

Например, пользователю нужно будет решить, какая комбинация скорости разливки и вторичного охлаждения обеспечит наилучшее качество непрерывной заготовки.

На этом уровне не потребуется преодолевать операционные проблемы, и разливка будет относительно простой.



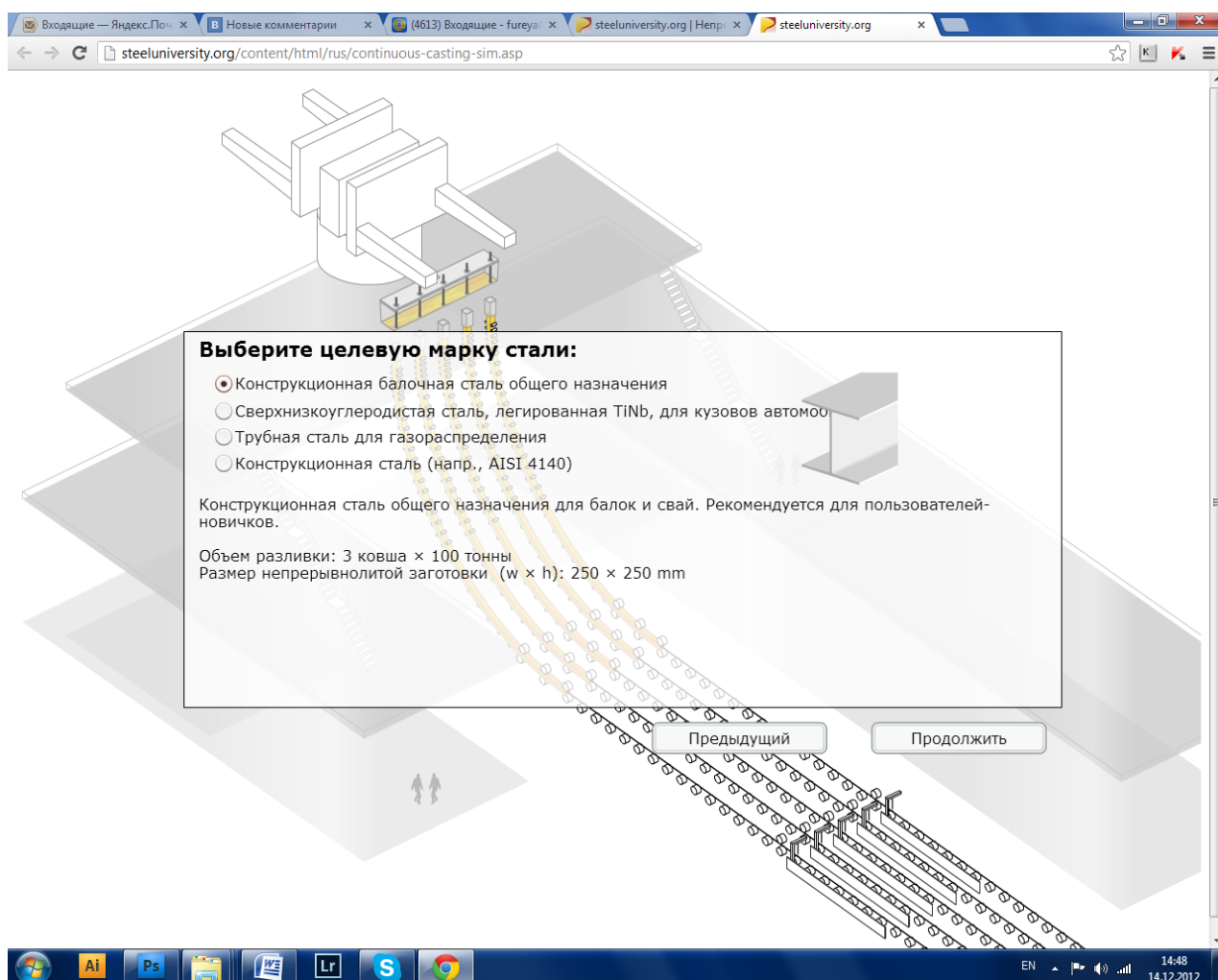
## Марки стали

В данной модели предусмотрено несколько разных марок стали. Это позволяет проиллюстрировать разные варианты обработки.

Конструкционная сталь общего назначения— это относительно нетребовательная, склонная к образованию трещин марка, рекомендуемая пользователю-новичку. Конструкционную сталь разливают на установках раз-



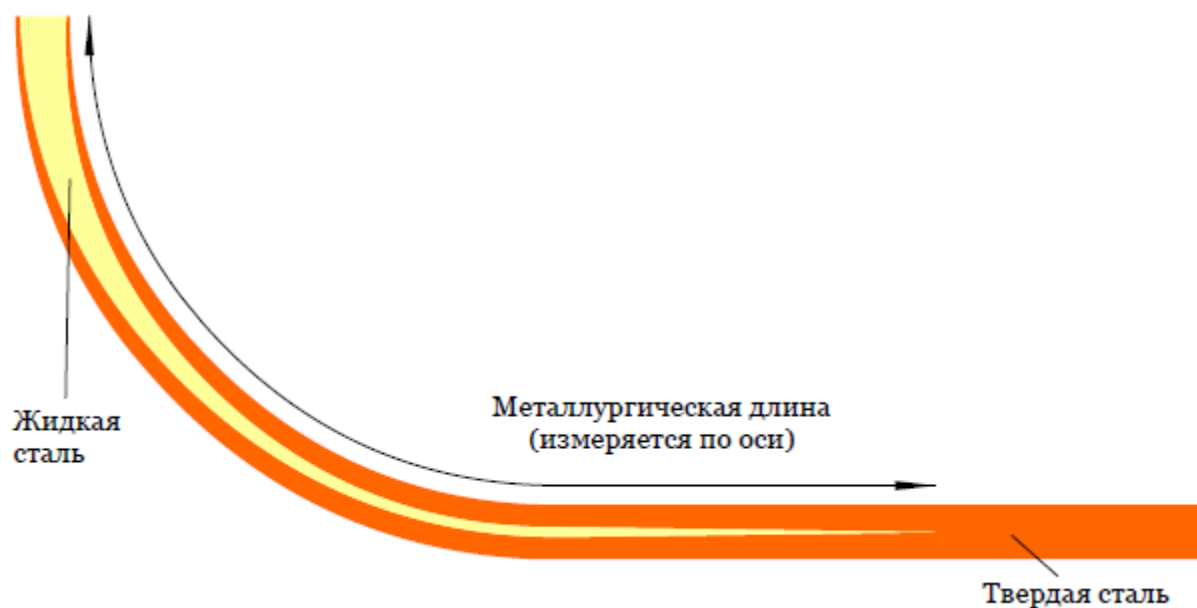
ливки блюмов с сечением 250 x 250 мм. Уровень содержания включений может быть умеренным, не вызывая проблем с качеством.



## Скорость разливки и вторичного охлаждения

Правильный выбор сочетания скорости разливки и скорости вторичного охлаждения имеет крайнюю важность. Этот выбор будет влиять на множество параметров во время разливки и является ключевым для получения качественного продукта. Один из параметров, непосредственно зависящих от такого выбора – это металлургическая длина – расстояние от кристаллизатора, на котором непрерывная заготовка полностью затвердевает.





Металлургическая длина – это комплексная функция химического состава стали, скорости разливки, скорости охлаждения и размеров непрерывной заготовки, расчет которой не предусмотрен в данной модели. Для принятия разумных решений в отношении выбираемых параметров разливки пользуйтесь таблицами ниже.

У разных типов разливочных машин разные скорости разливки и охлаждения. Таблицы ниже иллюстрируют зависимость металлургической длины от этих параметров.

Таблица 6-2 Metallургическая длина для конструкционной стали на машине разлики блюмов сечением 250 × 250 мм.

Скорость охлаждения / кг воды на кг стали	Скорость разлики / м мин <sup>-1</sup>			
	1,2	1,4	1,6	1,8
0,3	22,48	26,55	30,43	34,65
0,4	21,78	25,57	29,10	33,12
0,5	20,96	24,43	27,55	31,26
0,6	20,04	23,17	25,57	29,22

Таблица 6-3 Metallургическая длина для сверхнизкоуглеродистой стали на машине разлики слябов сечением 1200 × 230 мм.

Скорость охлаждения / кг воды на кг стали	Скорость разлики / м мин <sup>-1</sup>					
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,4	19,03	23,06	27,23	31,55	36,06	40,73
0,5	18,30	22,16	26,16	30,30	34,62	39,10
0,6	17,67	21,38	25,23	29,22	33,36	37,70
0,7	17,11	20,70	24,43	28,30	32,28	36,47
0,8	16,63	20,10	23,70	27,46	31,35	35,40

Таблица 6-4 Metallургическая длина для трубной стали на машине разлики слябов сечением 1200 × 230 мм.

Скорость охлаждения / кг воды на кг стали	Скорость разлики / м мин <sup>-1</sup>					
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,4	20,17	24,50	28,98	33,65	38,55	43,56
0,5	19,40	23,56	27,86	32,35	37,02	41,87
0,6	18,75	22,74	26,88	31,20	35,70	40,37
0,7	18,17	22,02	26,04	30,21	34,56	39,10
0,8	17,65	21,40	25,30	29,33	33,57	37,97

Таблица 6-5 Metallургическая длина для машиностроительной стали на машине разлики заготовок сечением 130 × 130 мм.

Скорость охлаждения / кг воды на кг стали	Скорость разлики / м мин <sup>-1</sup>		
	3,0	4,0	5,0
0,8	17,20	22,40	28,00
0,9	16,70	21,53	26,83
1,0	16,20	20,73	25,66
1,1	15,70	19,86	24,42
1,2	15,20	19,06	23,33

Входящие — Яндекс.Почта x Новые комментарии x (4613) Входящие - furey x steeluniversity.org | Главная x steeluniversity.org x

steeluniversity.org/content/html/rus/continuous-casting-sim.asp

**Пожалуйста, выберите целевую скорость разливки и скорость вторичного охлаждения :**

Целевая скорость разливки: 1.2 m / min  
 Расход охлаждающей воды: 0.4 кг воды на кг стали

Металлургическая длина 21.78 m

**Пожалуйста, выберите Ваши параметры для механизма качания кристаллизатора, включая порошок для кристаллизатора:**

Ход, S	4 mm	Время отставания заготовки по отношению к кристаллизатору	0.10 s
Частота, f	210 min <sup>-1</sup>	Расход для кристаллизатора	0.41 kg m <sup>-2</sup>
Порошок для кристаллизатора	A	Глубина отметки от качания кристаллизатора	0.18 mm
Вязкость порошка, η	0.12 Pas	Ускорение кристаллизатора	0.97 m s <sup>-2</sup>

Предыдущий Продолжить

14:48 14.12.2012

Входящие — Яндекс.Почта x Новые комментарии x (4613) Входящие - furey x steeluniversity.org | Главная x steeluniversity.org x

steeluniversity.org/content/html/rus/continuous-casting-sim.asp

**Пожалуйста, подайте заказ на ковши, выбрав температуру и время прибытия на станцию разливки:**

	Время прибытия / минуты	Температура / °C
Ковш 1:	0	1660
Ковш 2:	33	1660
Ковш 3:	53	1660

Предыдущий Продолжить

14:49 14.12.2012

## Установки качания кристаллизатора

Качание кристаллизатора в первую очередь применяется для уменьшения трения между плитами кристаллизатора и корочкой непрерывной заготовки. Этому способствует индуцированный поток разливочного порошка (ШОС) от мениска по зазору между корочкой непрерывной заготовки и плитами кристаллизатора.

**Шаг,  $S$  [мм]:** Обычно шаг варьируется от 3 до 10 мм. С увеличением шага пропорционально увеличивается время отставания непрерывной заготовки (см. ниже). Следовательно, увеличивается глубина меток от качания и расход ШОС.

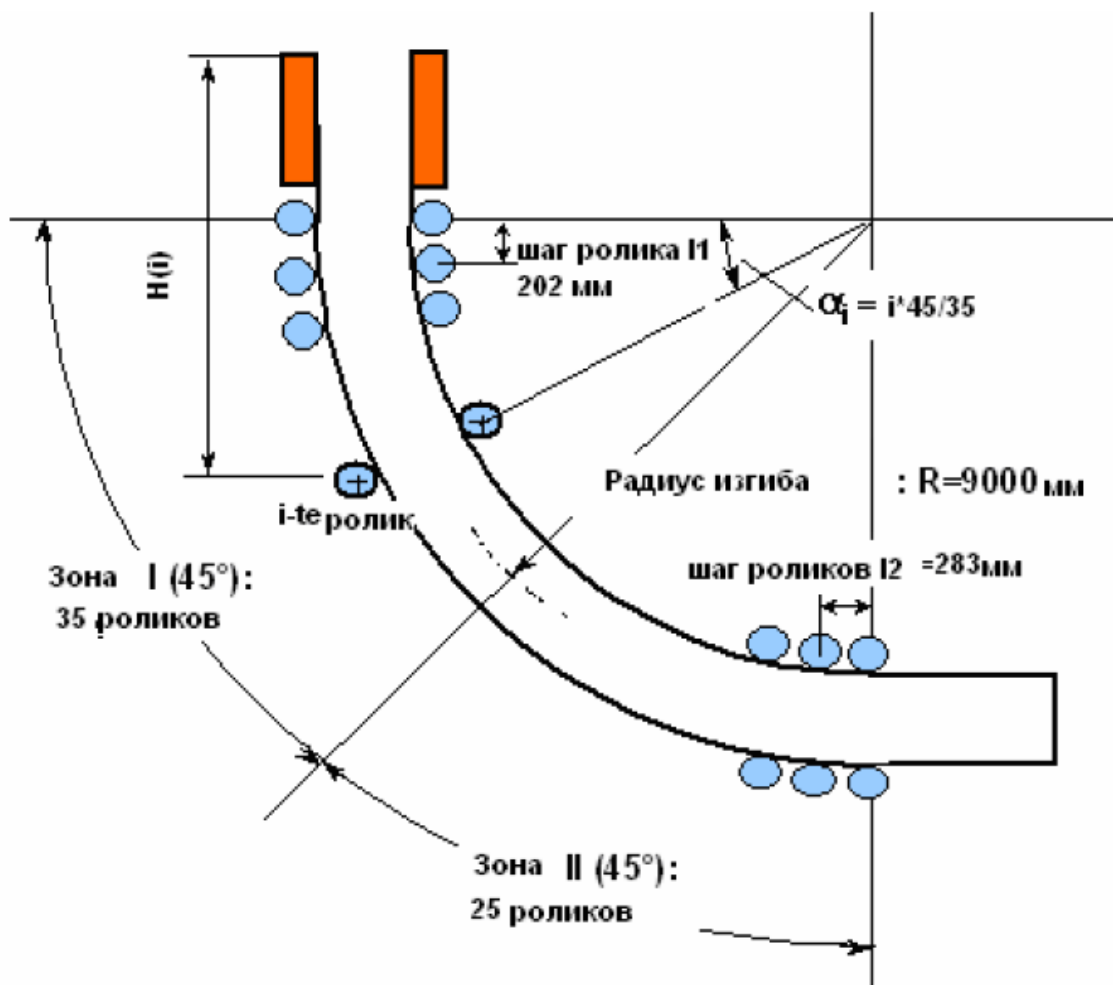
**Частота,  $f$  [мин-1]:** Традиционные гидравлические механизмы качания кристаллизатора работают с частотой от 100 до 250 циклов в минуту. С увеличением частоты возрастает время отставания заготовки, следовательно, уменьшается глубина меток от качания и расход ШОС.

**Глубина метки от качания,  $d$  [мм]:** При том, что качание кристаллизатора необходимо при непрерывной разливке, оно вызывает ухудшение качества поверхности из-за так называемых меток от качания. Для поверхности непрерывно литой заготовки характерно присутствие меток, которые периодически образуются на мениске из-за возвратно-поступательного движения кристаллизатора. Они играют важную роль для качества поверхности, так как часто становятся причиной поперечных трещин.

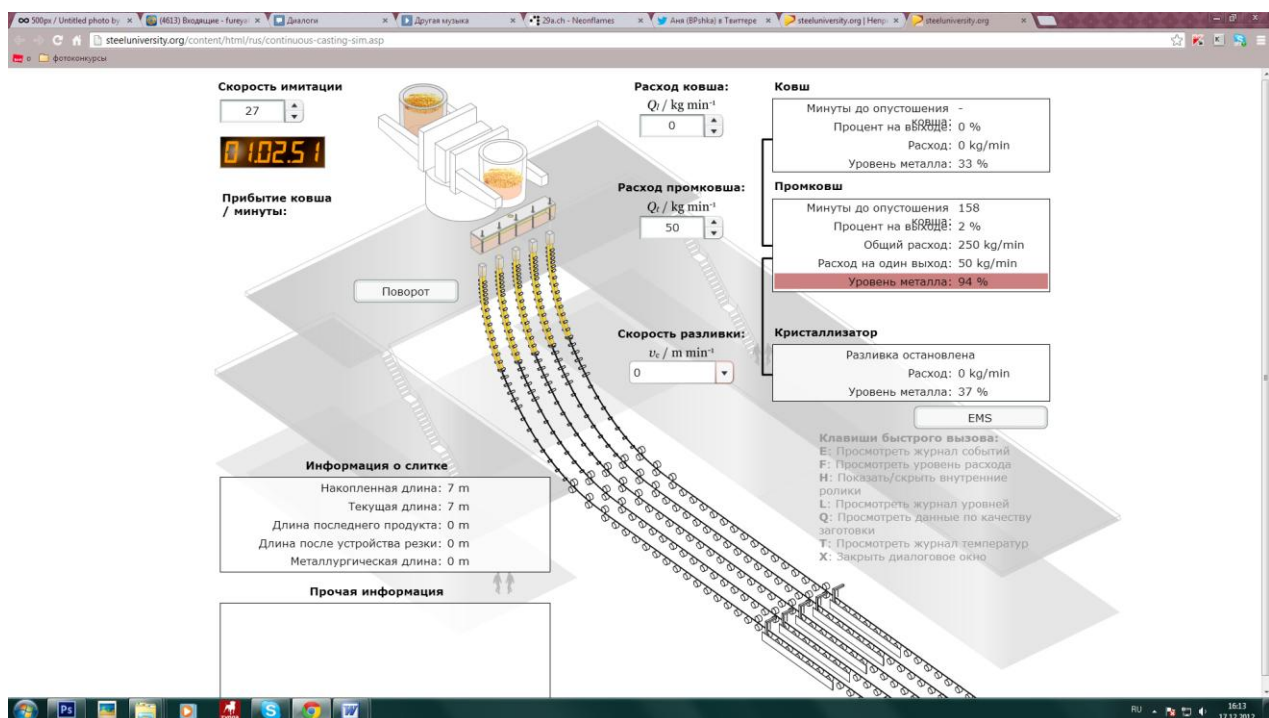
Чтобы у стали была оптимальная температура в кристаллизаторе, важно заказывать ковши с правильной температурой.

Температура ликвидуса

$T_{liq} = 1537 - 78\%C - 7.6\%Si - 4.9\%Mn - 34.4\%P - 38\%S$



Схематическое изображение разливочной машины



## Информация о разливке

Имеется возможность просматривать детальную информацию о разливке во время и после работы с моделью. Нажатием на соответствующую клавишу предлагаются следующие виды.

### ПРОСМОТРЕТЬ ЖУРНАЛ СОБЫТИЙ (КЛАВИША E)

Журнал событий фиксирует в хронологической последовательности все основные события, включая некоторые установки модели. Это полезно для прослеживания всех ваших действий и всего, что произошло до настоящего момента моделирования. Кроме того, это также поможет вам проанализировать ваши результаты в конце моделирования, так как в журнале часто даются пояснения причин, по которым вам что-то удалось или не удалось.

### ПРОСМОТРЕТЬ СТРУИ (КЛАВИША F)

При нажатии 'F' открывается диаграмма струй жидкой стали, текущих из стальной ковша в промковш и из промковша в кристаллизатор.

### ПОКАЗАТЬ/СКРЫТЬ ВНУТРЕННИЕ РОЛИКИ (КЛАВИША N)

Нажатием 'H' происходит переключение отображаемыми и скрываемыми внутренними роликами ручья. Это дает вам очень полезную возможность просматривать весь ручей при разливке сверхнизкоуглеродистой или трубной стали на слябовой разливочной машине.

#### ПРОСМОТРЕТЬ ЖУРНАЛ УРОВНЕЙ (КЛАВИША L)

Если нажать 'L', то можно просмотреть, как изменился уровень жидкой стали в стальковше и в промковше.

#### ПРОСМОТРЕТЬ КАЧЕСТВО (КЛАВИША Q)

При нажатии 'Q' открывается графическая презентация непрерывной заготовки в состоянии после. Будут отмечены хорошие и плохие участки, а также будут показаны: Непрерывная разливка – Руководство пользователя основные параметры непрерывной заготовки. Эта опция доступна только после завершения моделирования.

#### ПРОСМОТРЕТЬ ТЕМПЕРАТУРУ (КЛАВИША T)

Нажатием 'T' можно вызвать показ изменения температуры в динамике по времени в стальковше и в промковше. Эта опция доступна только после завершения моделирования.

#### ЗАКРЫТЬ ДИАЛОГОВОЕ ОКНО ИНФОРМАЦИИ ПО РАЗЛИВКЕ (КЛАВИША X)

При нажатии 'X' закрывается диалоговое окно с информацией о разливке.

### **Результаты моделирования**

После окончания разливки всей стали и получения непрерывной заготовки работа с моделью будет завершена, и на экран будут выведены результаты операции разливки. Сразу будут показаны четыре ключевых параметра, а затем вы сможете детально рассмотреть успехи и недостатки выполненной разливки, подробно рассмотрев один из пяти видов. Ключевые параметры включают:

Входящи: x В Друзья А: x Диалоги x (4613) Вкл: x steelnive x steelnive x где отмен: x Vilnia-by: x Рождест: x Pinavja: x

steeluniversity.org/content/html/rus/continuous-casting-sim.asp

**ПОЗДРАВЛЯЕМ!**

Вы успешно завершили имитацию непрерывной разливки.

**Установки модели:**

Уровень Пользователя :	Студент университета
Марка Стали :	Конструкционная сталь
Установка разливки :	Блюм
Скорость разливки :	1.2 m / min
Расход охлаждающей воды :	0.4 кг воды на кг стали


**Основные результаты:**

Общая длина слитка: 98.7 m.  
 Длина, соответствующая критериям качества: 98.7 m (100 %)  
 Общие операционные затраты: \$90050  
 Затраты на метр: \$182.53  
 Затраты на метрическую тонну: \$369.68

**Подробная информация по модели**

Нажмите на следующие клавиши, чтобы просмотреть следующие сведения по имитации.:

**E** - Журнал событий  
**F** - Расходы ковша и промковша  
**L** - Уровень металла в ковше и промковше  
**T** - Температура металла в ковше и промковше  
**Q** - Регистрация параметров качества  
**X** - Закрыть диалоговое окно




RU 16:51 14.12.2012

## СЕРТИФИКАТ

Входящи: x В Друзья А: x Диалоги x (4613) Вкл: x steelnive x steelnive x где отмен: x Vilnia-by: x Рождест: x Pinavja: x

steeluniversity.org/content/html/rus/continuous-casting-sim.asp



**steeluniversity.org** **протокол of результат**


Настоящим удостоверяем, что:

**Пайманова Анна, студентка НИТУ "МИСиС"**

---

завершил имитацию Непрерывной Разливки со следующим результатами:

Уровень Пользователя:	Студент университета
Марка Стали:	Конструкционная сталь
Установка разливки:	Блюм
Общая длина слитка:	98.7 m.
Длина, соответствующая критериям качества:	98.7 m (100 %)
Общие операционные затраты:	\$90050
Затраты на метр:	\$182.53
Затраты на метрическую тонну:	\$369.68

  
 Rizwan Janjua  
 Руководитель проекта

Fri Dec 14 16:52:25 GMT+0400 2012 Cert No. CC-1355489545205.34

RU 16:52 14.12.2012



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### Моделирование прокатки листа

1. **Цель:** изучить процесс листовой прокатки металла с использованием электронного образовательного ресурса <http://steeluniversity.org>

2. Выполнение лабораторной работы.

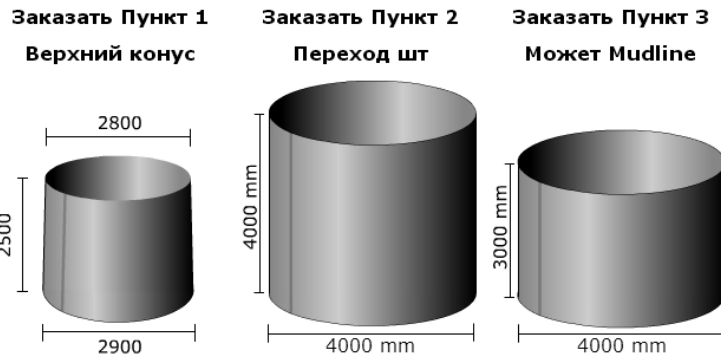
1) Постановка задачи.

Листопрокат включает в себя прием, повторный нагрев слябов и прокатки их до указанного размера листа с необходимыми механическими свойствами. Ваша цель заключается в запуске экономически выгодного производства проката листа для каркаса ветроэнергетических установок.

Заказ.

Вы получили заказ на поставку листов для 25 башен морского ветропарка, как показано на рисунке. Каждая башня построена из 21 раздела:

- 10 лучших секциях башни имеют конический профиль, который будет вырезан из прямоугольных листов и сварены, чтобы сформировать **конус**. Имея толщину 8 мм верхний конус является самой тонкой частью.
- Ниже этого находятся цилиндрические части, который находится непосредственно над уровнем моря. Они предназначены для создания прочной основы для конуса, компенсируя любые мерные различия в структуре ниже уровня моря.
- Нижние 10 секций цилиндрической формы устанавливаются толстые пластины (толщиной 45 мм), находящиеся в море и подлежащие высокой нагрузке.



		Заказать Пункт 1 Верхний конус	Заказать Пункт 2 Переход шт	Заказать Пункт 3 Может Mudline
Толщина	мм	8	25	45
Верхний диаметр	мм	2800	4000	4000
Нижний диаметр	мм	2900	4000	4000
Высота	мм	2500	4000	3000
Спецификация		S235JR	S355G10 + M	S355G10 + M
Предел текучести (Rp)	МПа	≥ 235	≥ 355	≥ 355
OTC (Rm)	МПа	360-510	470-630	470-630
EI%	%	≥ 24	≥ 22	≥ 22
ITP	° C	N / A	-70	-70

ITP = температура, выше которой стандартный образец для испытания по Шарпи может выдержать 24 J. Более низкие значения означают по сути жесткой стали способны выдерживать более жестких условиях.

## 1.2. Необходимые решения и действия

В этом моделировании, вы несете ответственность за прокатку этих трех важных разделов с необходимыми размерами и механическими свойствами, все при минимальных затратах. Вам придется:

1. рассчитать размеры листа для создания конусной части башни
2. указать обрезаемые кромки
3. выберите соответствующий химический состав листа и режим прокатки для каждой позиции заказа,
4. укажите размеры отрезаемых кромок; количество слябов и количество получаемых из них листов. Размеры сляба и листа выбираются в соответствии с физическими возможностями оборудования цеха.
5. выбрать подходящий режим прокатки для каждого листа
6. произвести прокатку в интерактивной симуляции

## 1.3. Необходимая производительность

После прокатки любой из позиций заказа Вы получите отчет. Это будет список:

1. фактические **размеры листа**
2. фактические **механические свойства**

### 3. **Общая стоимость** этого заказа. Это основано на сырье (например, слябы) и мельница времени (почасовая ставка).

Вам нужно успешно выполнить все три пункта для завершения заказа. Ваши лучшие индивидуальные результаты для трех различных элементов заказа будут добавлены вместе, чтобы дать общую стоимость заказа.

#### 2) Ход работы

Ход работы представлен в скриншотах, которые поэтапно показывают: задание размеров, химического состава сляба, режим прокати, количество слябов и количество получаемых листов, для каждой из частей башни ветро-энергетической установки.

Размеры листа с отрезными кромками и тестового образца (в размере 400 мм от каждого листа).

Обзор

Размеры толстого листа & Допуски

Химсостав сляба & Варианты прокатки

Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров

График прокатки

Top tower cone

Верхний конус

Переходный элемент

Участок уровня дна

Размеры подрезанного толстого листа

Толщина 8 мм

Ширина 2500 мм

Длина 9106 мм

Допуски

Подрезанная кромка (каждая сторона) 25 мм

Подрезанный конец (каждый конец) 50 мм

Пробная подрубка (один конец) 400 мм

Подрезанная кромка

Пробная подрубка

Подрезанный конец

Полезные размеры листа (раскрой одной или более готовых плит)

Подрезанная кромка

Данный экран позволяет установить ключевые размеры для выбранного заказа

От вас требуется ввести необходимую длину и ширину листа (мм), которые следует рассчитать из первоначального заказа

Вы должны ввести допуски на кромку \ подрезку кромки в миллиметрах. Это величина, которая будет срезана с кромок и концов каждого прокатанного толстого листа. 400 миллиметров будет автоматически снято с каждого листа для выпуска тестовых образцов.

Когда вы закончите установку своих значений, вернитесь в или в любые другие установки, нажав на соответствующую клавишу

Обзор	Размеры толстого листа & Допуски	Химсостав сляба & Варианты прокатки	Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров	График прокатки
<p>Transition piece</p>	<p><b>Размеры подрезанного толстого листа</b></p> <p>Толщина: 25 мм</p> <p>Ширина: 4000 мм</p> <p>Длина: 12560 мм</p> <p><b>Допуски</b></p> <p>Подрезанная кромка (каждая сторона): 25 мм</p> <p>Подрезанный конец (каждый конец): 50 мм</p> <p>Пробная подрубка (один конец): 400 мм</p>		<p>Данный экран позволяет установить ключевые размеры для выбранного заказа</p> <p>От вас требуется ввести необходимую длину и ширину листа (мм), которые следует рассчитать из первоначального заказа</p> <p>Вы должны ввести допуски на кромку \ подрезку кромки в миллиметрах. Это величина, которая будет срезана с кромок и концов каждого прокатанного толстого листа. 400 миллиметров будет автоматически снято с каждого листа для выпуска тестовых образцов.</p> <p>Когда вы закончите установку своих значений, вернитесь в или в любые другие установки, нажав на соответствующую клавишу</p>	

Обзор	Размеры толстого листа & Допуски	Химсостав сляба & Варианты прокатки	Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров	График прокатки
<p>Mudline can</p>	<p><b>Размеры подрезанного толстого листа</b></p> <p>Толщина: 45 мм</p> <p>Ширина: 3000 мм</p> <p>Длина: 12560 мм</p> <p><b>Допуски</b></p> <p>Подрезанная кромка (каждая сторона): 25 мм</p> <p>Подрезанный конец (каждый конец): 50 мм</p> <p>Пробная подрубка (один конец): 400 мм</p>		<p>Данный экран позволяет установить ключевые размеры для выбранного заказа</p> <p>От вас требуется ввести необходимую длину и ширину листа (мм), которые следует рассчитать из первоначального заказа</p> <p>Вы должны ввести допуски на кромку \ подрезку кромки в миллиметрах. Это величина, которая будет срезана с кромок и концов каждого прокатанного толстого листа. 400 миллиметров будет автоматически снято с каждого листа для выпуска тестовых образцов.</p> <p>Когда вы закончите установку своих значений, вернитесь в или в любые другие установки, нажав на соответствующую клавишу</p>	

Режимы прокатки, и химический состав сляба.

Обзор	Размеры толстого листа & Допуски	<b>Химсостав сляба &amp; Варианты прокатки</b>	Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров	График прокатки
-------	----------------------------------	--	---	-----------------

Top tower cone

Верхний конус

Переходный элемент

Участок уравнива дна

**Режим прокатки**

После прокатки

Термомеханическая прокатка

Коэффициент обжатия: 1.50 : 1

Выдержка толщины: 12 мм

**Химсостав сляба**

Затраты \$/т	C	Mn	Si	P	S	Ni	Nb	Ti	Cu	Al
A 620	0.06	1.40	0.20	0.007	0.001		0.020	0.010		0.005 0.030
B 560	0.15	1.40	0.40	0.010	0.008		0.026			0.007 0.030
C 530	0.10	0.75	0.25	0.015	0.012					0.008
D 630	0.11	1.15	0.45	0.012	0.008	0.20	0.035	0.50	0.30	0.008 0.030
E 540	0.15	0.75	0.25	0.018	0.012					0.008
F 640	0.08	1.50	0.35	0.007	0.001	0.20	0.022	0.010		0.006 0.035

Этот экран позволяет установить режим прокатки и состав сляба для выбранного заказа.

Вы должны выбрать одну из доступных химий сляба посредством выбора из предложенных опций ниже. Затраты на слябы (на тонну) и их (химические) составы представлены в списке.

Затем необходимо определить требуемый режим прокатки. Если Вы выбираете ТМ режим, то Вам необходимо уточнить Коэффициент обжатия (отношение толщины полосы перед прокаткой к прокатаной толщине).

Когда вы закончите установку своих значений, вернитесь в или в любые другие установки, нажав на соответствующую клавишу

Обзор	Размеры толстого листа & Допуски	<b>Химсостав сляба &amp; Варианты прокатки</b>	Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров	График прокатки
-------	----------------------------------	--	---	-----------------

Transition piece

Верхний конус

Переходный элемент

Участок уравнива дна

**Режим прокатки**

После прокатки

Термомеханическая прокатка

Коэффициент обжатия: 2.50 : 1

Выдержка толщины: 62.5 мм

**Химсостав сляба**

Затраты \$/т	C	Mn	Si	P	S	Ni	Nb	Ti	Cu	Al
A 620	0.06	1.40	0.20	0.007	0.001		0.020	0.010		0.005 0.030
B 560	0.15	1.40	0.40	0.010	0.008		0.026			0.007 0.030
C 530	0.10	0.75	0.25	0.015	0.012					0.008
D 630	0.11	1.15	0.45	0.012	0.008	0.20	0.035	0.50	0.30	0.008 0.030
E 540	0.15	0.75	0.25	0.018	0.012					0.008
F 640	0.08	1.50	0.35	0.007	0.001	0.20	0.022	0.010		0.006 0.035

Этот экран позволяет установить режим прокатки и состав сляба для выбранного заказа.

Вы должны выбрать одну из доступных химий сляба посредством выбора из предложенных опций ниже. Затраты на слябы (на тонну) и их (химические) составы представлены в списке.

Затем необходимо определить требуемый режим прокатки. Если Вы выбираете ТМ режим, то Вам необходимо уточнить Коэффициент обжатия (отношение толщины полосы перед прокаткой к прокатаной толщине).

Когда вы закончите установку своих значений, вернитесь в или в любые другие установки, нажав на соответствующую клавишу

Обзор Размеры толстого листа & Допуски **Химсостав сляба & Варианты прокатки** Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров График прокатки

Mudline can

Верхний конус  
Переходный элемент  
Участок уровня дна

**Режим прокатки**

После прокатки  
 Термомеханическая прокатка

Коэффициент обжатия: 5.00 :1  
Выдержка толщины: 225 мм

Этот экран позволяет установить режим прокатки и состав сляба для выбранного заказа.  
Вы должны выбрать одну из доступных химий сляба посредством выбора из предложенных опций ниже. Затраты на слябы (на тонну) и их (химические) составы представлены в списке.  
Затем необходимо определить требуемый режим прокатки. Если Вы выбираете ТМ режим, то Вам необходимо уточнить Коэффициент обжатия (отношение толщины полосы перед прокаткой к прокатаной толщине).  
Когда Вы закончите установку своих значений, вернитесь в или в любые другие установки, нажав на соответствующую клавишу

**Химсостав сляба**

Затраты \$/т	C	Mn	Si	P	S	Ni	Nb	Ti	Cr	Cu	N	Al
А 620	0.06	1.40	0.20	0.007	0.001		0.020	0.010			0.005	0.030
В 560	0.15	1.40	0.40	0.010	0.008		0.026				0.007	0.030
С 530	0.10	0.75	0.25	0.015	0.012						0.008	
Д 630	0.11	1.15	0.45	0.012	0.008	0.20	0.035	0.50	0.30		0.008	0.030
Е 540	0.15	0.75	0.25	0.018	0.012						0.008	
Ф 640	0.08	1.50	0.35	0.007	0.001	0.20	0.022	0.010			0.006	0.035

## Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров

Обзор Размеры толстого листа & Допуски Химсостав сляба & Варианты прокатки **Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров** График прокатки

Top tower cone

Верхний конус  
Переходный элемент  
Участок уровня дна

Данный экран позволит вам определить слябы, необходимые для прокатки выбранной единицы заказа. Две ширины и две длины сляба доступны в "выпадающем" меню Выработка оптимальных размеров сляба

1. Решите сколько листов вы планируете выпускать из каждого сляба
2. Рассчитайте массу каждого материнского листа - не забудьте про допуски. Используйте в качестве помощи диаграмму
3. Выберите подходящие размеры сляба для получения требуемой массы стали. Масса сляба на дисплее.

Вы можете выбрать 3 различных размера сляба. Используйте кнопку +, чтобы определить другие размеры сляба

**Размеры подрезанного толстого листа**

Толщина: 8 мм  
Ширина: 2500 мм  
Длина: 9106 мм

**Допуски**

Подрезанная кромка: 25 мм  
Подрезанный конец: 50 мм  
Пробная подрубка: 400 мм

# Кол-во т. листов на 1 сляб	Ширина мм	Толщина мм	Длина мм	Масса т	Обжатие по толщине	Коэффициент ушерения	# Слябы	# Листы
3	1270	225	2036	4.567	28.12	2.007	7	21
4	1270	225	2714	6.087	28.12	2.007	1	4

# Листы (Итого) 25

**Вид сверху:**

Материнский толстый лист

Сляб

27818 2550

Обзор Размеры толстого листа & Допуски Химсостав слаба & Варианты прокатки **Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров** График прокатки

Transition piece

Данный экран позволит вам определить слябы, необходимые для прокатки выбранной единицы заказа. Две ширины и две длины сляба доступны в "выпадающем" меню Выработка оптимальных размеров сляба

1. Решите сколько листов вы планируете выпустить из каждого сляба
2. Рассчитайте массу каждого материнского листа - не забудьте про допуски. Используйте в качестве помощи диаграмму
3. Выберите подходящие размеры сляба для получения требуемой массы стали. Масса сляба на дисплее.

Вы можете выбрать 3 различных размера сляба. Используйте кнопку + , чтобы определить другие размеры сляба

Размеры подрезанного толстого листа		Допуски	
Толщина	25 мм	Подрезанная кромка	25 мм
Ширина	4000 мм	Подрезанный конец	50 мм
Длина	12560 мм	Пробная подрубка	400 мм

# Кол-во т. листов на 1 сляб	Ширина мм	Толщина мм	Длина мм	Масса т	Обжатие по толщине	Коэффициент ушерения	# Слябы	# Листы
1	1900	305	2266	10.30	12.2	2.131	25	25

# Листы (Итого) 25

Вид сверху: Материнский толстый лист

Обзор Размеры толстого листа & Допуски Химсостав слаба & Варианты прокатки **Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров** График прокатки

Mudline can

Данный экран позволит вам определить слябы, необходимые для прокатки выбранной единицы заказа. Две ширины и две длины сляба доступны в "выпадающем" меню Выработка оптимальных размеров сляба

1. Решите сколько листов вы планируете выпустить из каждого сляба
2. Рассчитайте массу каждого материнского листа - не забудьте про допуски. Используйте в качестве помощи диаграмму
3. Выберите подходящие размеры сляба для получения требуемой массы стали. Масса сляба на дисплее.

Вы можете выбрать 3 различных размера сляба. Используйте кнопку + , чтобы определить другие размеры сляба

Размеры подрезанного толстого листа		Допуски	
Толщина	45 мм	Подрезанная кромка	25 мм
Ширина	3000 мм	Подрезанный конец	50 мм
Длина	12560 мм	Пробная подрубка	400 мм

# Кол-во т. листов на 1 сляб	Ширина мм	Толщина мм	Длина мм	Масса т	Обжатие по толщине	Коэффициент ушерения	# Слябы	# Листы
1	1900	305	3069	13.96	6.777	1.605	25	25

# Листы (Итого) 25

Вид сверху: Материнский толстый лист

График прокатки с температурными режимами

Обзор

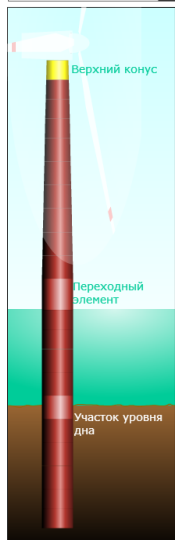
Размеры толстого листа & Допуски

Химсостав сляба & Варианты прокатки

Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров

График прокатки

Top tower cone



Режим прокатки

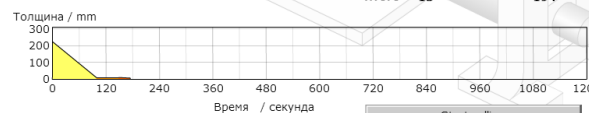
В следующей симуляции (задании) от вас потребуется управлять процессом, когда у вас будет не один сляб, а несколько и таким образом попытаться максимизировать производительность. Одновременно Вы можете управлять несколькими слябами сразу. Существует несколько кнопок управления, которые позволяют вам либо выгружать другой сляб из печи (нагревательной) или возвращать все слябы, которые вы уже выдали на стан для окончательной прокатки. В задании учитываются и время и эффективное использование пространства в ходе ТМ (термомеханической прокатки). Вы должны учесть, что между прибытием плит (листов) на стан будет 15 секунд. Вы должны оставить 2 метра (пространства) как минимум между плитами в караване. Заполните, что целевая температура конца прокатки 850 градусов.

Режим прокатки: Термомеханическая прокатка; Коэффициент обжатия = 1.5 : 1

Размеры сляба: 225x1270x2714 mm

Размеры материнского листа: 8x2550x38016 mm

	Толщина мм	Температура °C	Количество проходов	Время секунда
Сляб	225	1200		
Черновая фаза			11	99
Разворот	94.78	1135		
Фаза захвата				50
Конец захвата	12	850		
Последний проход			2	26
Материнский толстый лист	8	786		
<b>Итого</b>			<b>13</b>	<b>194</b>



Толщина / mm

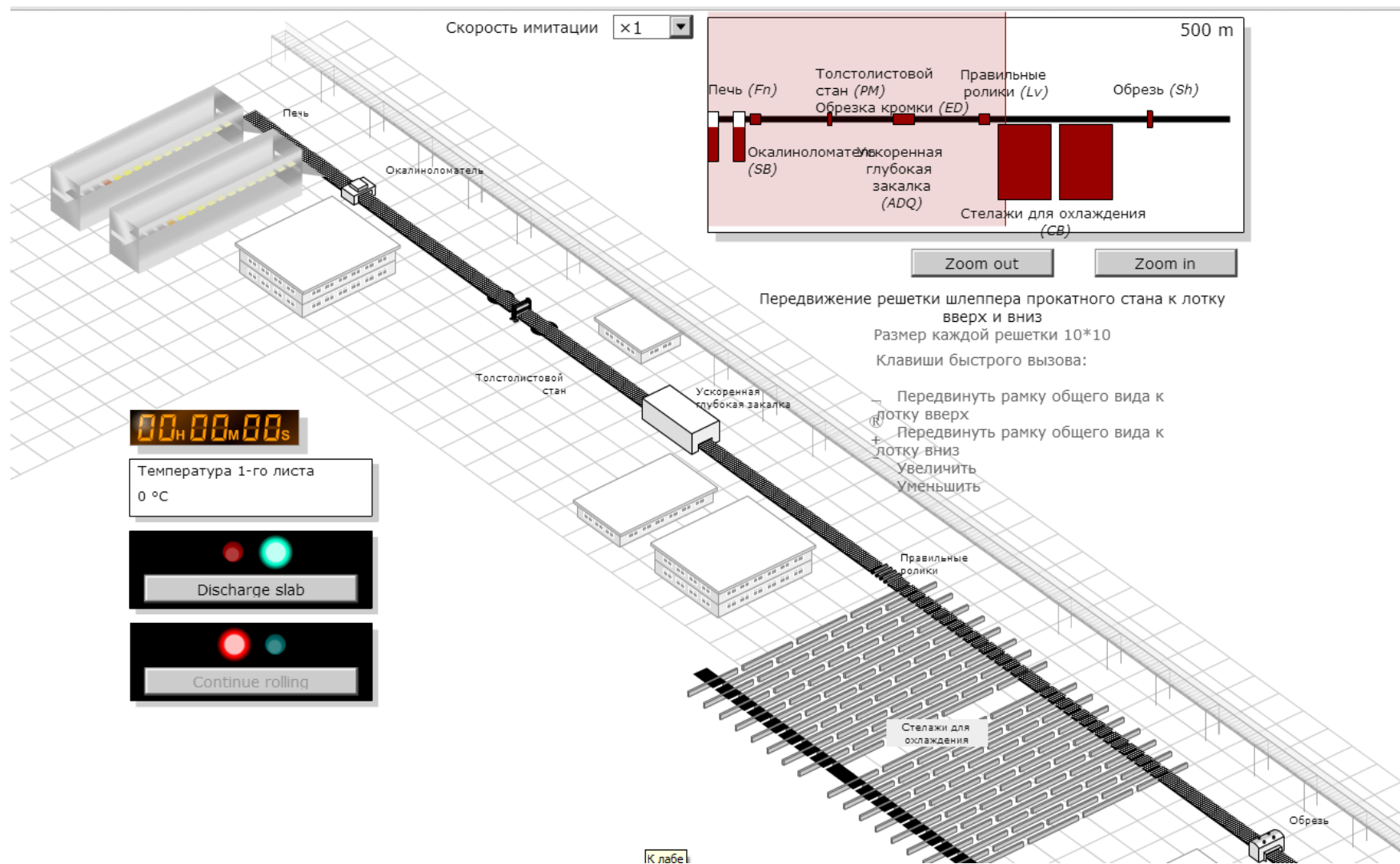
Время / секунда

Start rolling

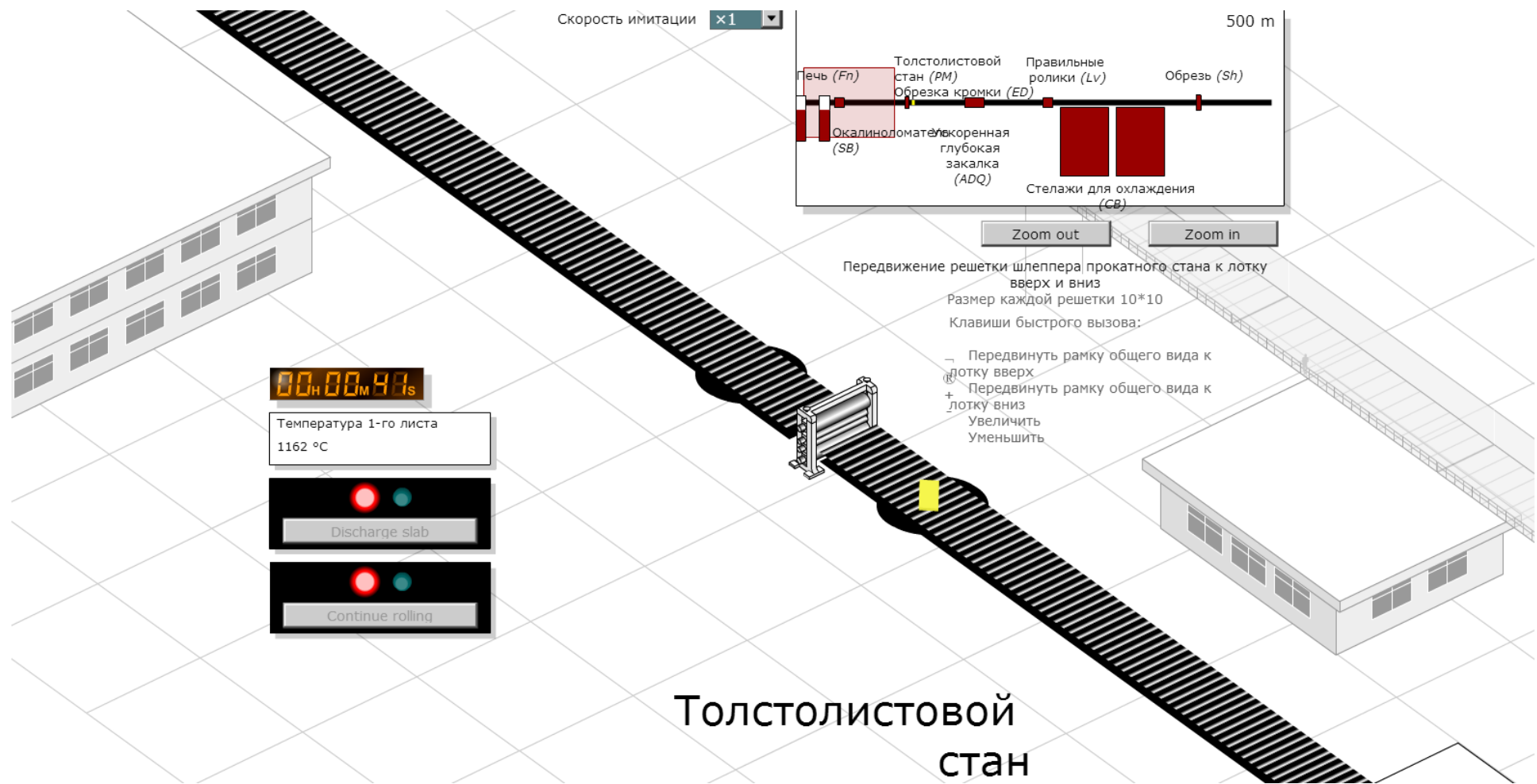


# Симуляция процесса прокатки:

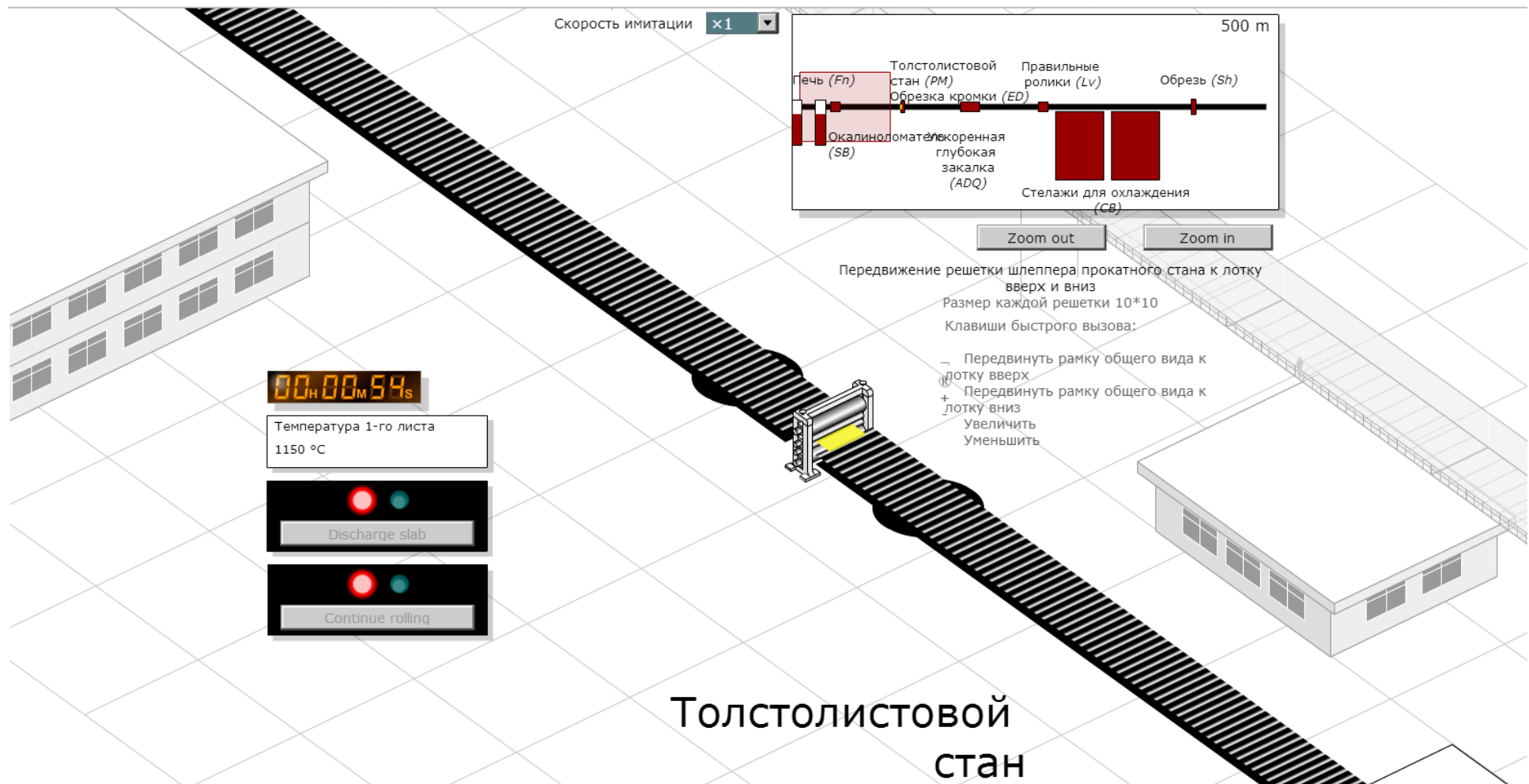
## Схема цеха прокатки:



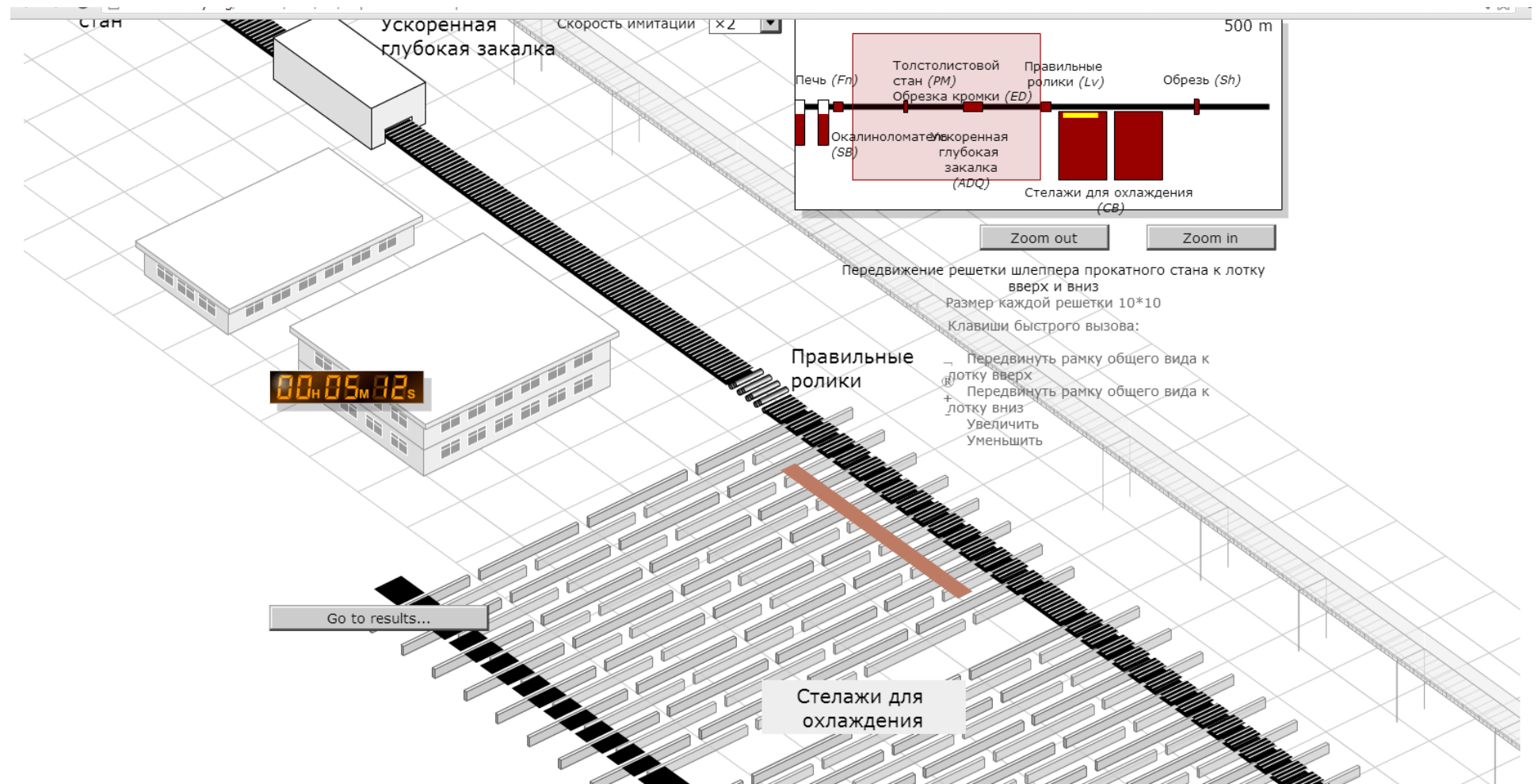
Посредством управления выгрузкой слябов из печи, рольгангом и клетью, производим процесс прокатки:



На рисунке: поворот сляба на поворотном рольганге для прокатки необходимой ширины



# Процесс прокатки в клету



Лист находится на стеллажах для охлаждения

## Резюме результатов

ID отчета ABC-12345-XXX  
 Марка стали сляба E

Пункт заказа Top tower cone  
 Спецификация S235JR

### Отчет по тестовому прогону

	Specification		Result		
	Min	Max			
Напряжение пластического течения, Re / МПа	235		399	Режим прокатки	Термомеханическая прокатка
Предел прочности на растяжение, Rm / МПа	460	510	483	Коэффициент обжатия	1.5 : 1
% Удлинение	24		26	Температура съема плиты / °C	851
Температура перехода в хрупкое состояние / °C		null	-	Температура конца прокатки / °C	779

### Отчет по выпуску продукции

Комплектование монтажной партии для прокатки слябов разных размеров	7 @ 225x1270x2036 mm; 1 @ 225x1270x2714 mm;				
Общая масса / t	38.057 @ \$540 / тонн			Общие затраты на производство сляба	\$20551
	<b>Planned</b>	<b>Achieved</b>			
# Mother plates		1			
Общая масса / t		6.088			
Общее время прокатки / секунда		211			
Производительность / т/час (аббревиатура)	115.460	103.941	= 90.0%		
# Cut plates		3			
		1289 @ \$60000 / час		Временные затраты	\$21476
				<b>Общая стоимость</b>	<b>\$42027</b>

В конце симуляции нами получен отчет о прокатке листов для верхней части башни, зеленым цветом выделены параметры прокатки, соответствующие нормам. Производительность составила 90%, что является хорошим показателем.

С экономической точки зрения, данный процесс прокатки эффективен.

### 3. Вывод

Программа сайта <http://steeluniversity.org> хорошо адаптирована для студентов, при выполнении лабораторной работы она помогает использовать на практике теоретические знания, полученные в области обработки металла давлением.

## Библиографический список

1. Фиргер И. В. Испытание стали на растяжение: Справочник. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. — 304 с, ил.
2. Материалы сайта <http://www.steeluniversity.org>
3. Е.Т. Туркдоган: Основы сталеплавильного процесса, Институт материаловедения, Лондон, 1996, ISBN 1-86125-004-5
4. М. Андерссон Процесс металлургии Стокгольм 2002, стр.180-197
5. С. Полякова: Развитие и моделирование электрических печей, Диссертация, Королевский технологический институт (КТН), кафедра материаловедения и инженерии, Стокгольм, 2005
6. ДСП технологии: современное состояние и тенденции, Международный институт чугуна и стали, Брюссель, 2000, ISBN 2-930069-39-2
7. Е.Шурман непрерывное литье слябов, стали и чугуна, 1986, вып. 106 стр.,. 1196-1201
8. Томоно: Элементы колебаний формирования знака и их влияние на поперечные тонкие трещины в непрерывной разливки стали, докторская диссертация 1979
9. МАПМ, Создание, формирование и обработка стали, литье том CD, МАПМ, 2003
- 10.Нормантон: Непрерывное литье, 2000, Линц, Австрия
- 11.Т. Кашаша: Доклад о затвердевании стали, Япония 1973
- 12.