

Разработка методики проектирования
механизма оперативной регулировки
закрытой высоты КГШП по параметрам
штамповки с целью повышения
ТОЧНОСТИ ВЫСОТНОГО размера поковок

Анцифилов Алексей Анатольевич

Состояние исследований и научные школы

- Проектирование КГШП: Ланской Е. Н.
- Числовое программное управление процессами и машинами обработки давлением: Бочаров Ю.А.
 - Адаптивное управление КШМ: Перевертов В.П.[1979г]; Пашин В.Е[1985г]; Антимонов В.А [1997г], Гладков Ю.А [2004г];
 - Программное управление КШМ: Юданов Е.А[1988г]; Терещенко А. П[1989г]; Герасимов А.В[1991г];
- Имитационное моделирование: Аксенов Л. Б, Складчиков Е.Н, Власов А.В.
- Проблемы повышения точности высотного размера поковок, штампуемых на КГШП: Крук А.Т, Пруцков Р.Н, Балаганский В.И и др. (в основном сотрудники ОАО ТМП)

В семинаре подробно рассмотрены и использованы основные результаты работ этих и других исследователей.

Цели и задачи работы

- Разработка научно обоснованной методики проектирования механизма оперативной регулировки закрытой высоты с системой программно-адаптивного управления;
- Решение проблемы стабилизации отклонений высотного размера поковок от номинальных значений;

Для этого необходимо:

- Разработать новую компьютерную имитационную модель и программу управления механизмом оперативной подрегулировки закрытой высоты по параметрам процесса ГОШ на КГШП;
- Провести тестирование имитационной модели работы механизма оперативной регулировки закрытой высоты КГШП;
- Разработать алгоритм и методику проектирования механизмов оперативной регулировки закрытой высоты КГШП с программно-адаптивным управлением.

Результаты исследования Р.Н.Пруцкова, В.И.Балаганского, А.Т. Крука и др:

отклонение высоты поковки

$$\Delta h_{\pi} = \frac{\Delta F_D}{C_1} + \Delta L(\tau')$$

здесь:

$\Delta F_D = f(\Delta L, \Delta T)$ – отклонение силы деформирования;

$\Delta L(\tau') = -2\beta \int_0^{z(\tau')} \Delta T_{\dot{\epsilon}} dz$ – отклонение закрытой высоты межштампового пространства из-за температурных изменений инструмента;

C_1 – жесткость системы пресс–штамп в области облойного мостика на периметре гравюр;

β – средний коэффициент линейного расширения стали для рассматриваемого интервала температур $14,6 \cdot 10^{-6} \text{ C}^\circ$;

T_{II} – температура нагрева инструмента;

$Z(\tau')$ – координата z , при которой приращение ΔT_{II} не превышает $2...4 \text{ }^\circ$;

Закон изменения температуры нагрева заготовки в индукторе:

$$\Delta T_3 = \Delta T_a \cdot \sin\left(\frac{\tau}{\tau_{нк}} 2\pi\right)$$

где:

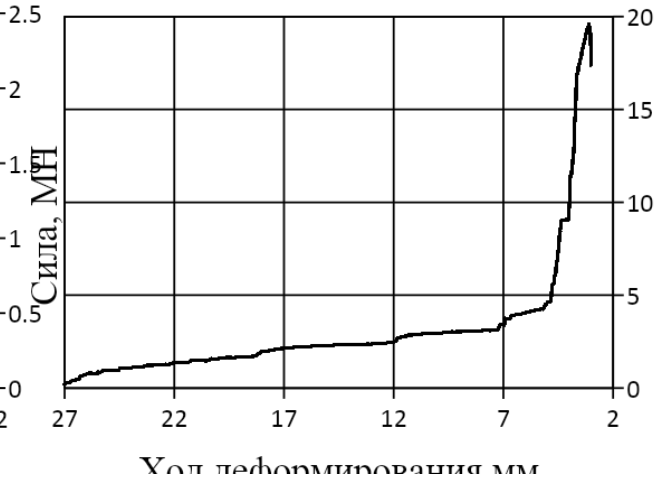
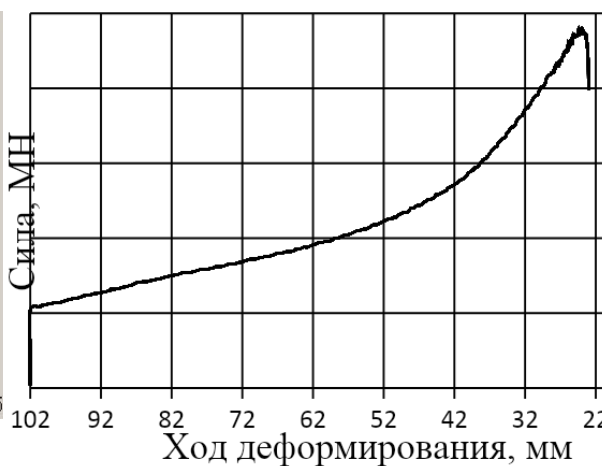
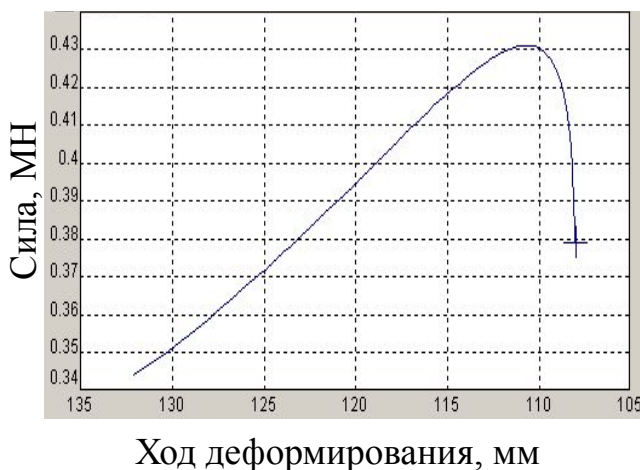
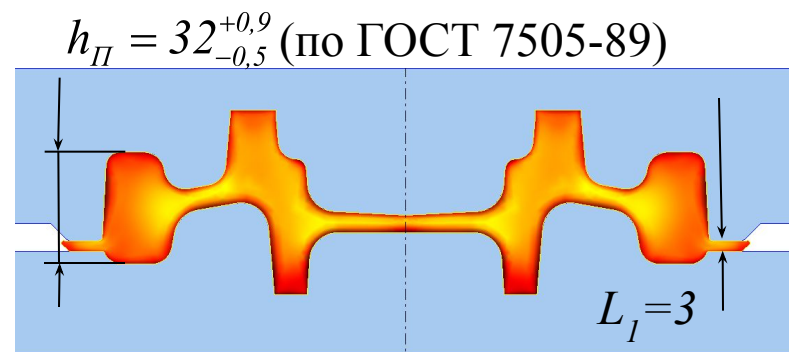
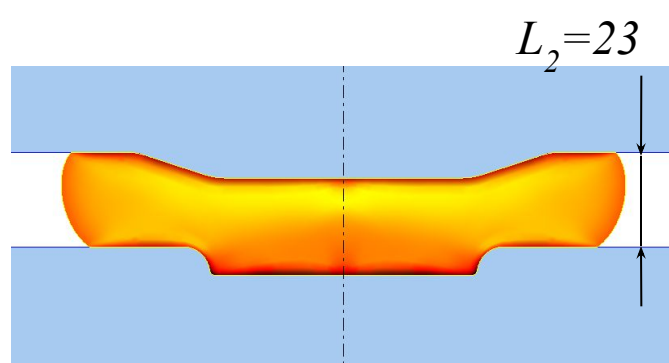
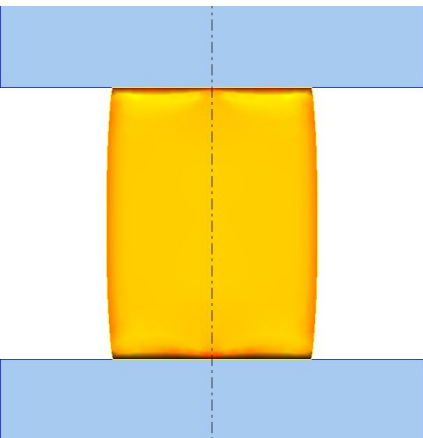
ΔT_a — амплитуда колебания температуры нагрева заготовок;

τ — текущее время штамповки;

$\tau_{нк}$ — период изменения температуры нагрева (мощности индуктора);

Типовой процесс штамповки шестерни второй передачи вторичного вала коробки передач автомобиля ЗИЛ на КГШП 25МН

Заготовка – пруток $\varnothing 75\text{мм}$ и высотой 132мм , $m_H = 4,58\text{кг}$, $T_H = 1150^\circ\text{C}$



Материал заготовки – сталь 25ХГМ

Факторы, влияющие на отклонение высотного размера поковок

$$\Delta h_{\text{П}} = \Delta P_{\text{Д}} / C_{\text{П-Ш}}$$

где $\Delta P_{\text{Д}} = f(\Delta m_{\text{з}}, \Delta T_{\text{з}}, \Delta T_{\text{И}}, \sigma_{\text{Т}}, \mu \text{ и др.})$

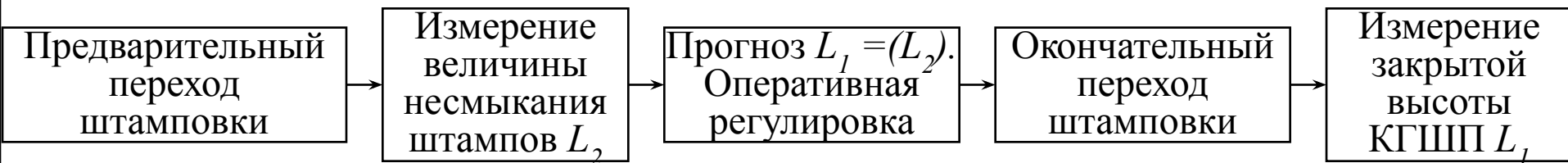
Гипотеза интегрального учета факторов тех. процесса ГОШ

на КГШП через величину несмыкания штампов L_2

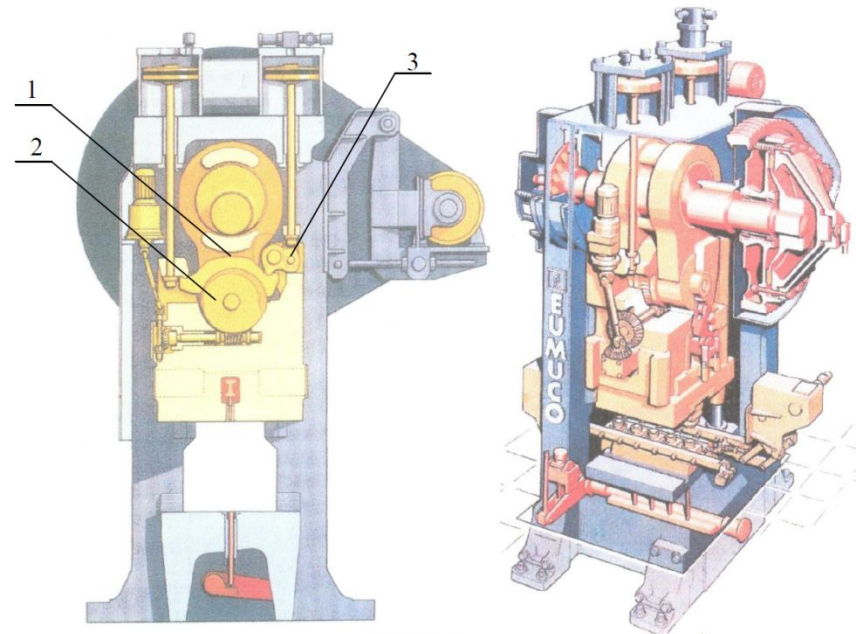
Параметры
технологического
процесса

$m_{\text{з}}, T_{\text{з}}, T_{\text{И}}, \mu, C_{\text{П-Ш}}$,
закрытая высота при наладке
и др.

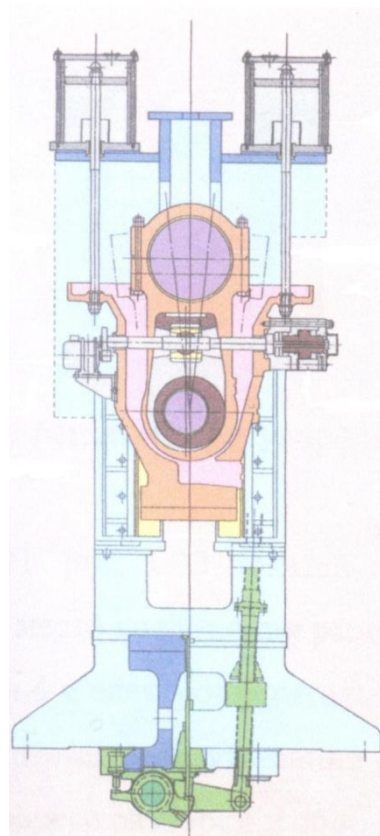
Технологический процесс ГОШ на КГШП



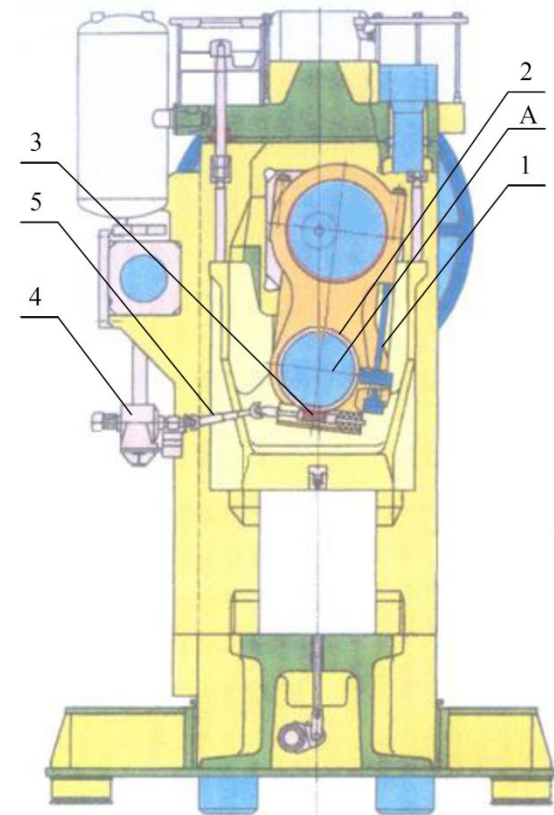
Механизмы регулировки закрытой высоты в КГШП фирм Eumiso (Германия), Kurimoto (Германия), Hasenclever (Япония)



1 – зажимная скоба; 2 - эксцентриковый палец с зубьями в центральной нижней части; 3 - шарнирно–рычажный механизм;

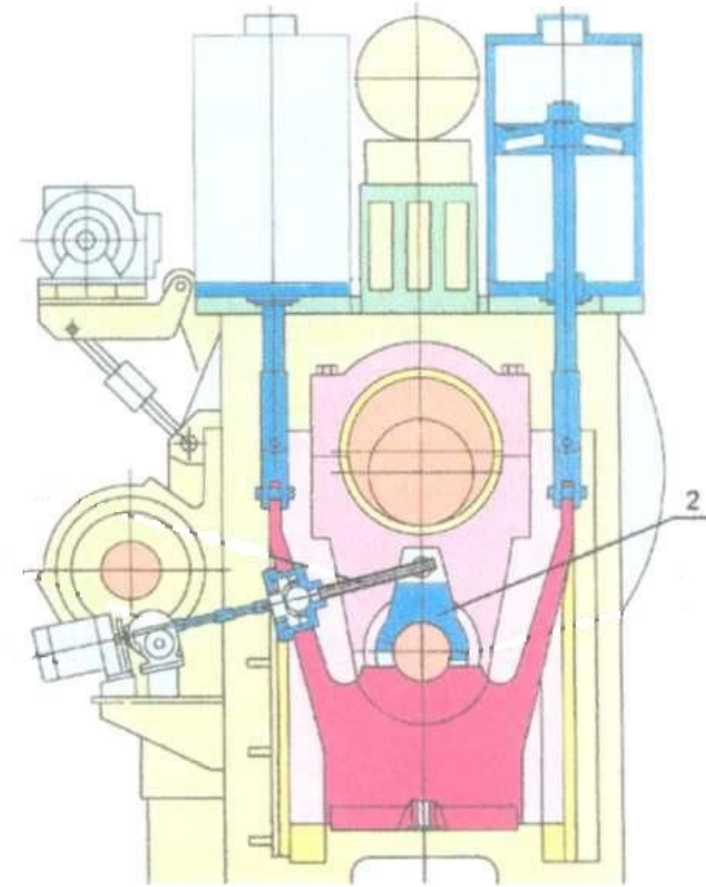
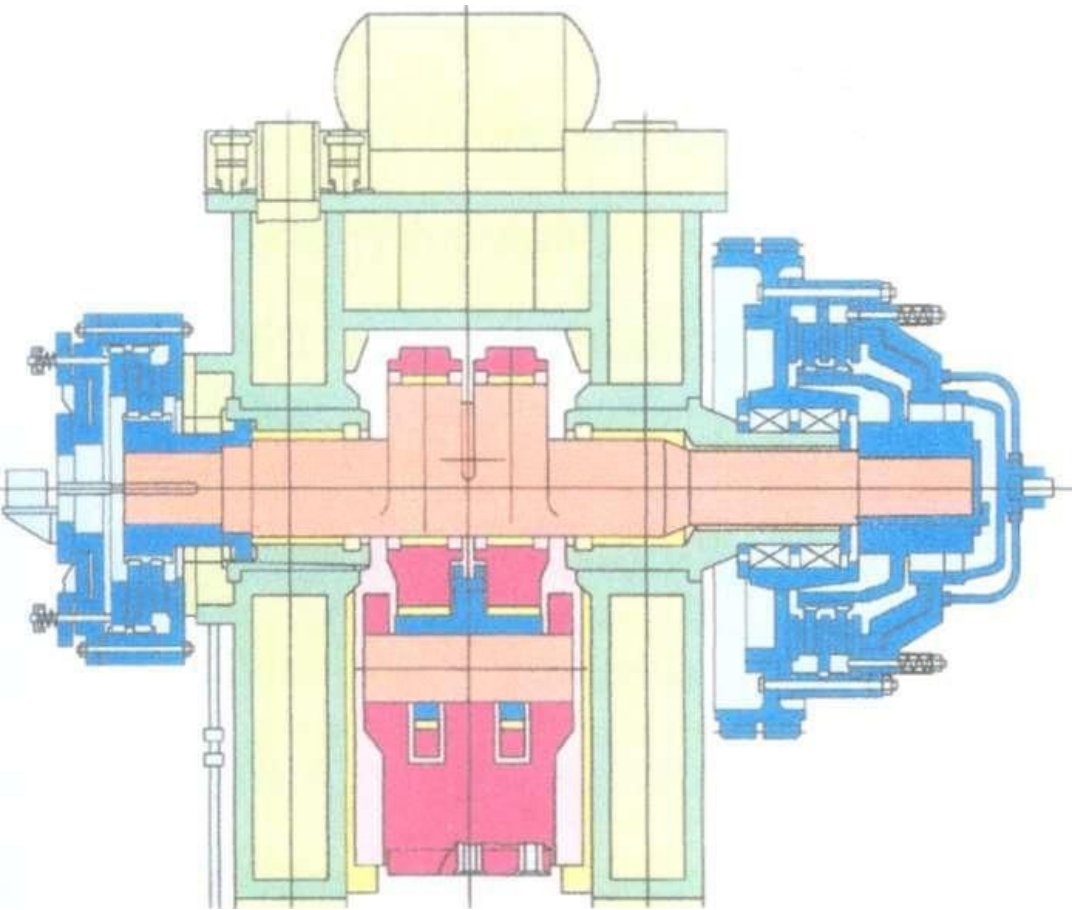


Регулировка закрытой высоты происходит за счет поворота рычага, установленного на эксцентриковой втулке. Втулка расположена в нижней головке шатуна.



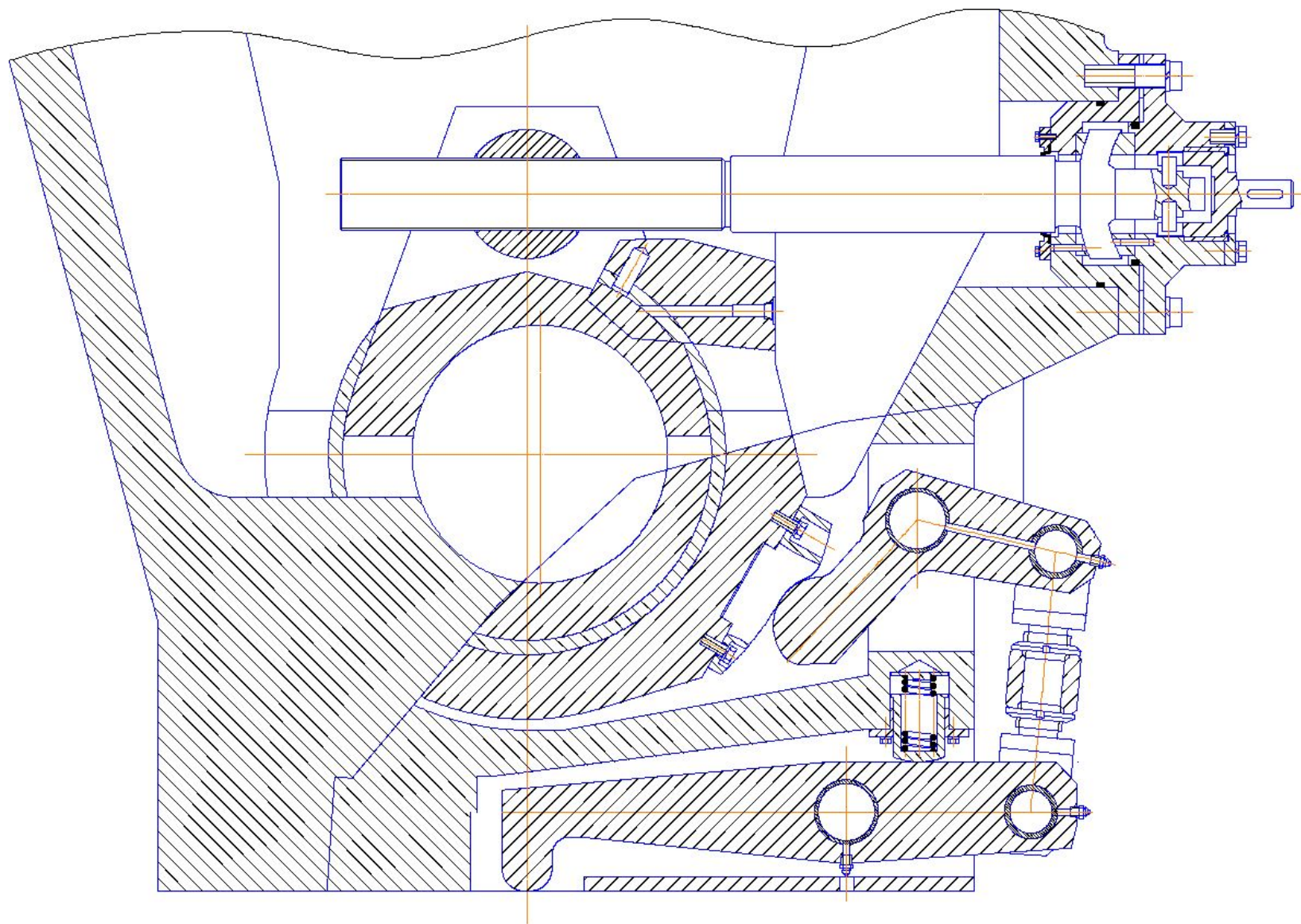
A – плоскость рассечения тела шатуна; 1 – стягивающие шпильки (между шпильками расположен гидроцилиндр); 2 – эксцентриковая поворотная втулка с зубьями на внешней поверхности; 3 – червячный вал; 4 – мотор – редуктор; 5 – телескопический карданный вал;

Схема с ручным управлением механизма регулировки закрытой высоты КГШП



- Регулировка за счет поворота детали 2 и изменения эксцентриситета нижней опоры шатуна;
- Для регулировки закрытой высоты требуется обязательная остановка производственной линии горячей объемной штамповки;

Ползун с механизмом регулировки закрытой высоты КГШП



Привод механизма регулировки закрытой высоты

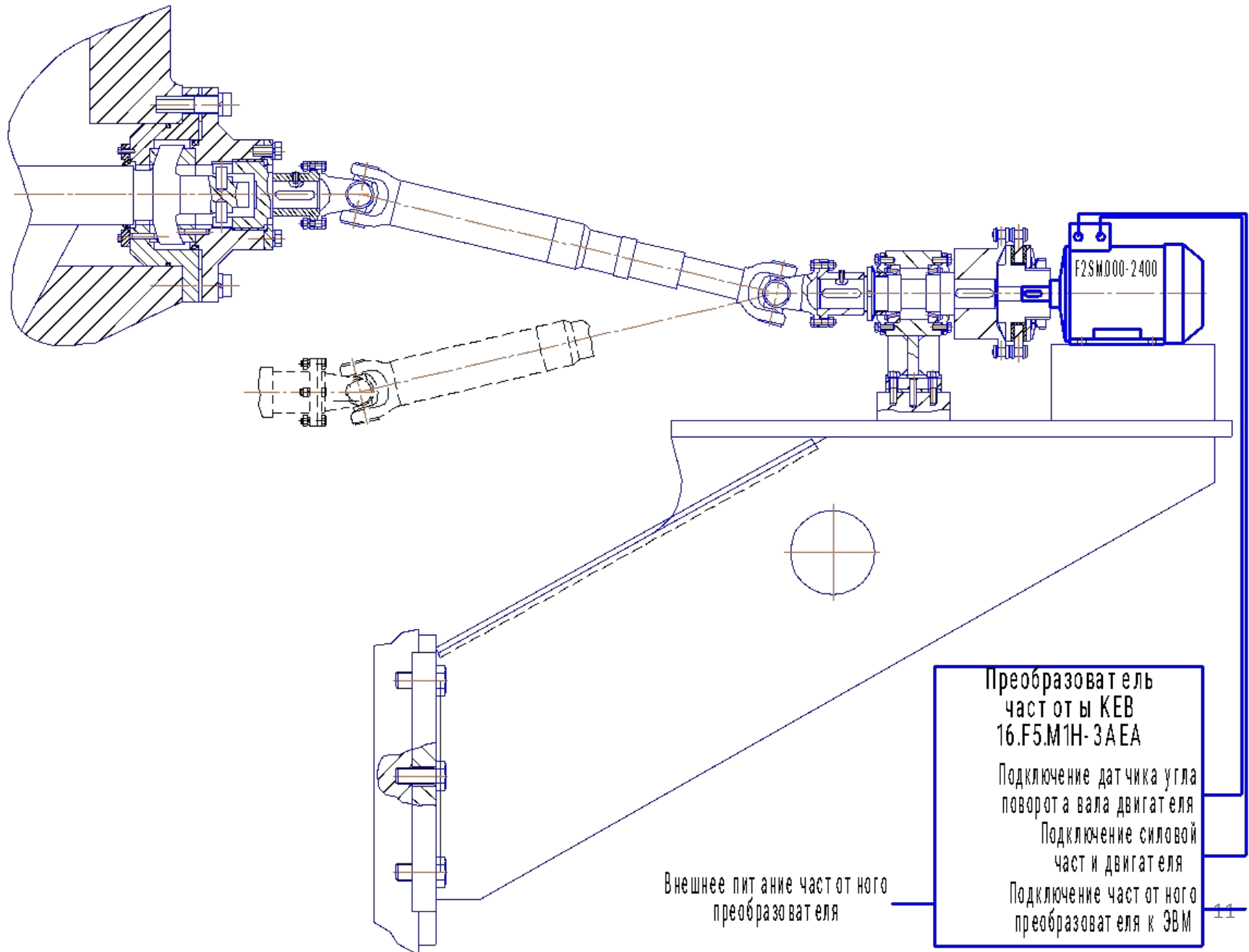
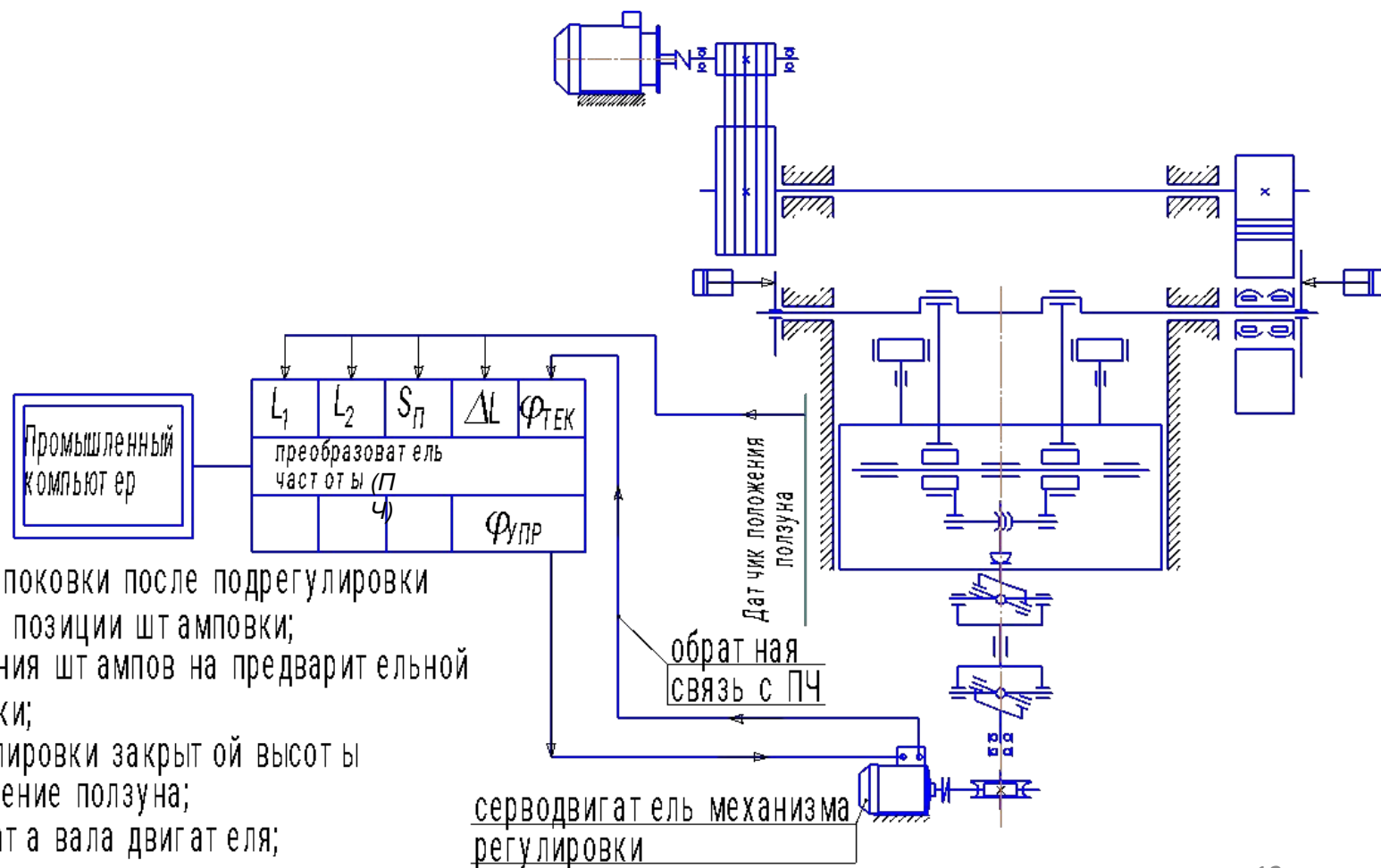


Схема системы программного управления механизмом регулировки КГШП с применением сервопривода



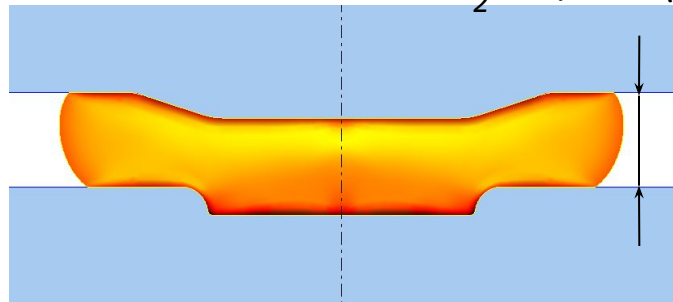
- L_1 - закрытая высота поковки после подрегулировки на окончательной позиции штамповки;
- L_2 - величина несмыкания штампов на предварительной позиции штамповки;
- $S_{П}$ - величина подрегулировки закрытой высоты;
- ΔL - линейное перемещение ползуна;
- $\Phi_{ТЕК}$ - текущая координата вала двигателя;
- $\Phi_{УПР}$ - сигнал на поворот вала двигателя управления;

Процесс штамповки шестерни второй передачи вторичного вала коробки передач автомобиля ЗИЛ на КГШП 25МН с случае взаимного влияния факторов

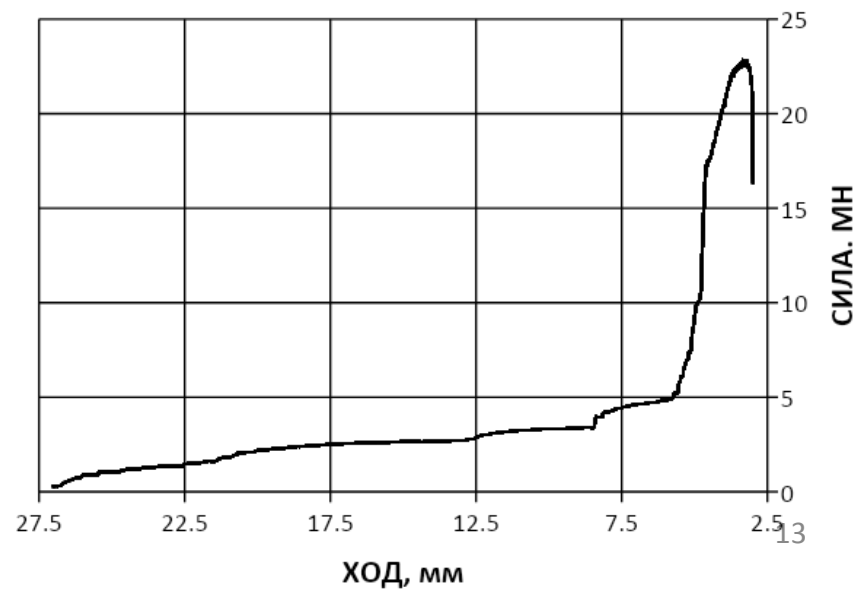
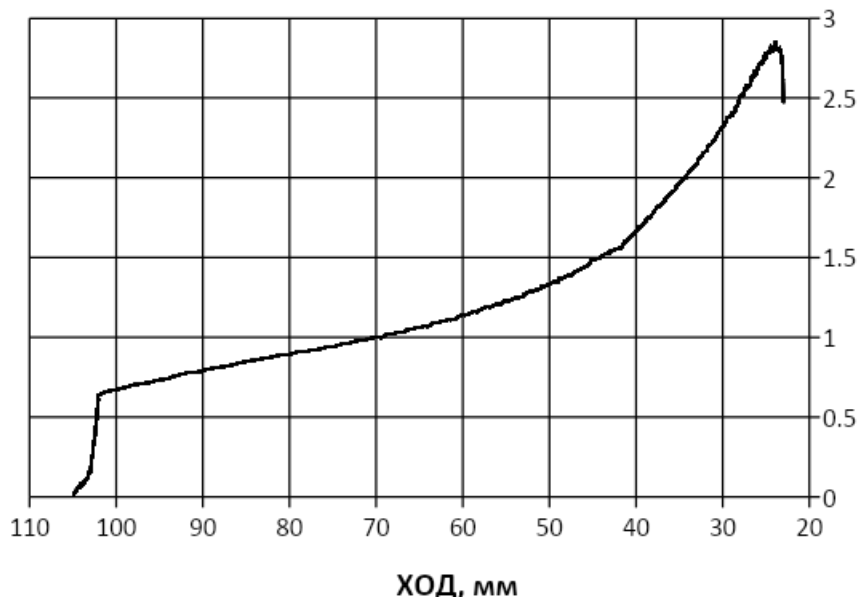
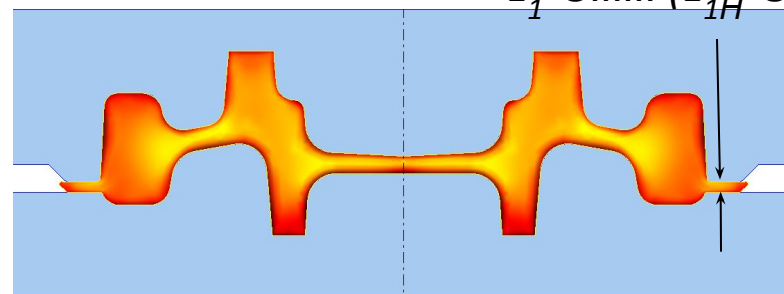
$$m_{\max} = 4,75 \text{ кг} \quad (m_{\text{НОМ}} = 4,58 \text{ кг})$$

$$T_{\min} = 1100^{\circ}\text{C} \quad (T_{\text{НОМ}} = 1150^{\circ}\text{C})$$

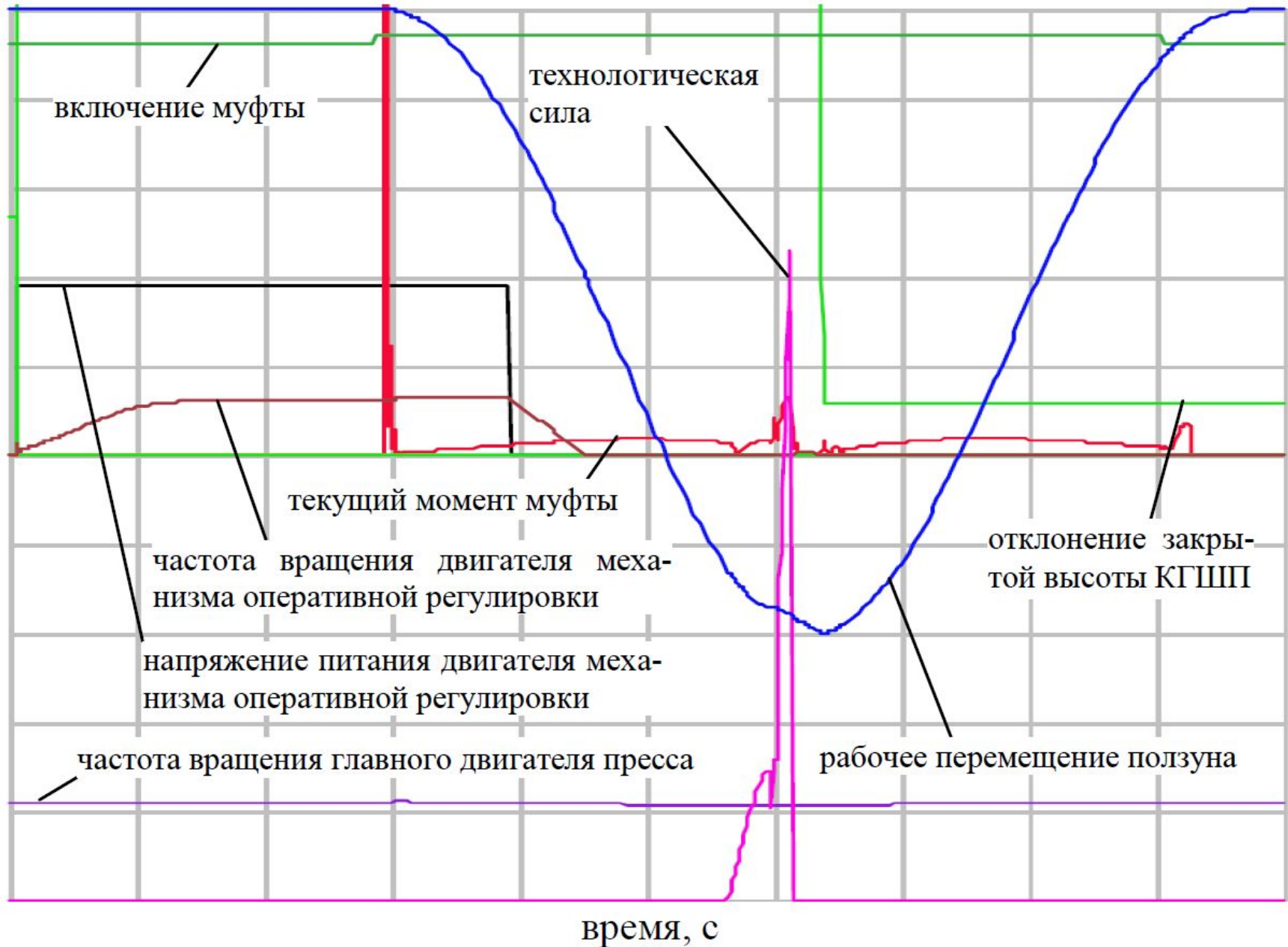
$$L_2 = 26,5 \text{ мм} \quad (L_{2H} = 23 \text{ мм})$$



$$L_1 = 5 \text{ мм} \quad (L_{1H} = 3 \text{ мм})$$



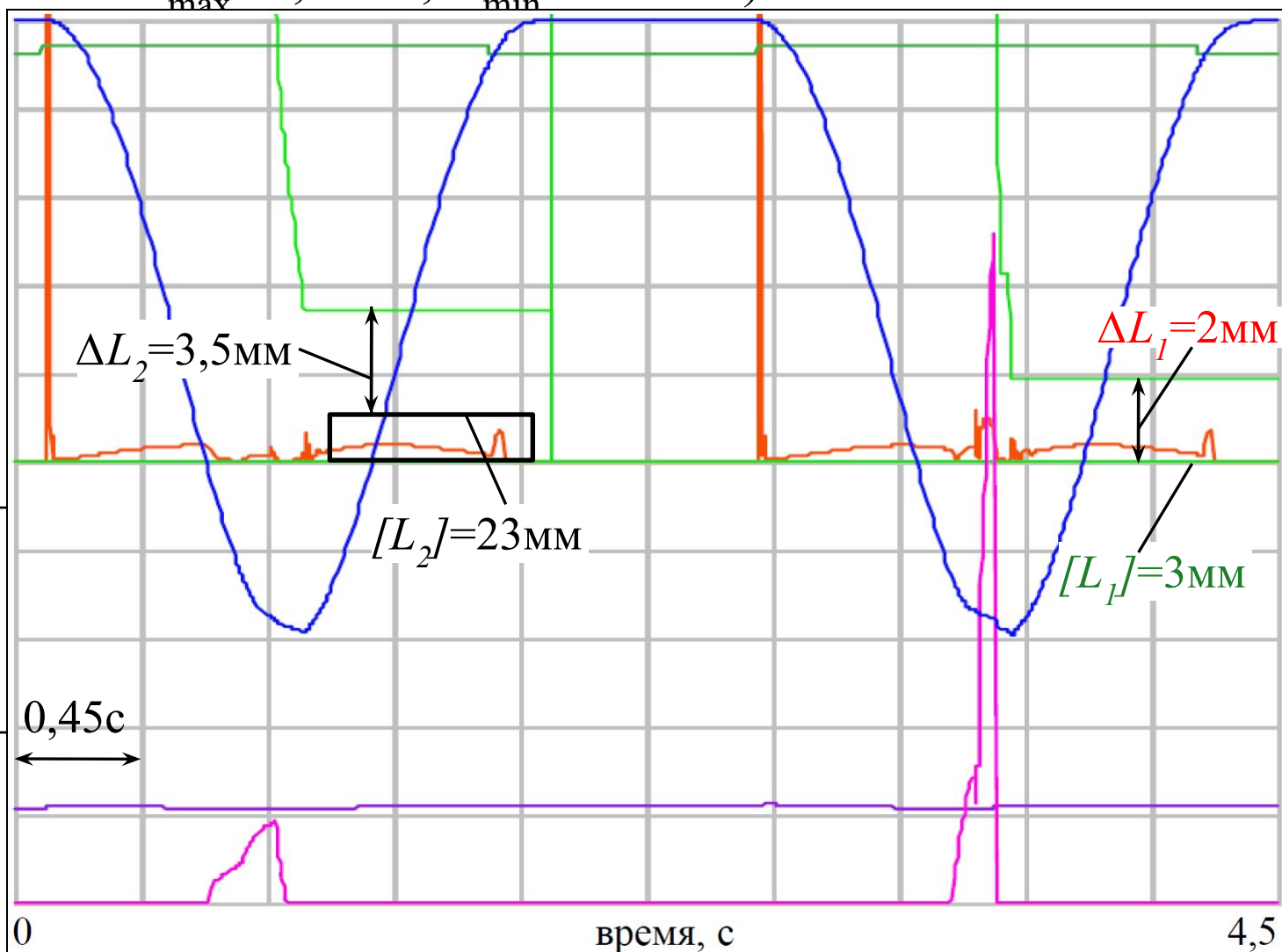
Моделирование работы КГШП 25МН. Параметры, фиксируемые при моделировании



Моделирование работы КГШП 25МН без оперативной подрегулировки закрытой высоты

(случай взаимного влияния факторов массы и температуры)

$m_{\max} = 4,75 \text{ кг}$, $T_{\min} = 1100^\circ\text{C}$

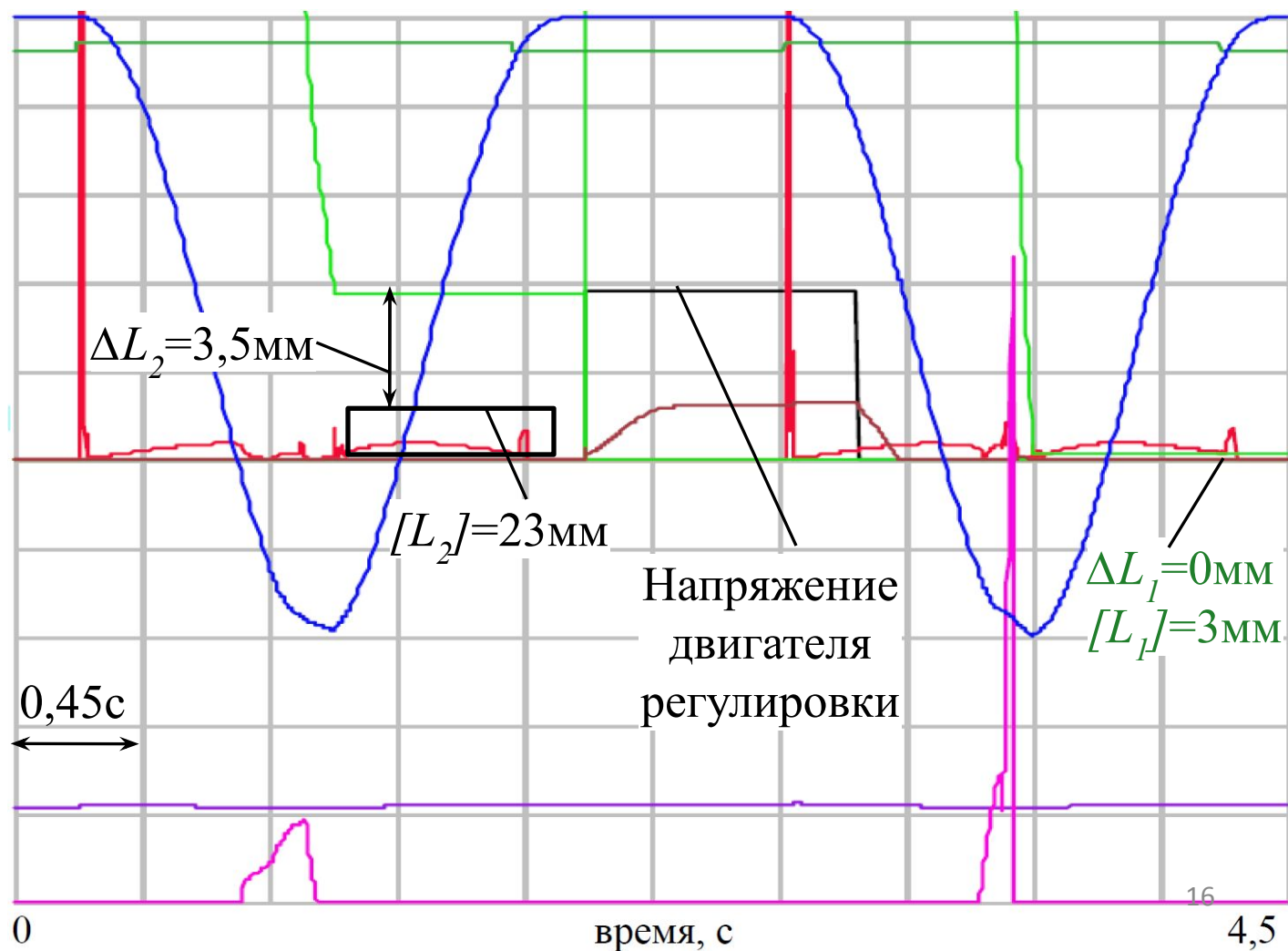


Величина несмыкания штампов L_2 , мм	26,5
Закрытая высота КГШП L_1 , мм	5

Моделирование работы КГШП 25МН с оперативной подрегулировкой закрытой высоты

(случай взаимного влияния факторов массы и температуры)

$m_{\max} = 4,75 \text{ кг}$, $T_{\min} = 1100^\circ\text{C}$



Величина несмыкания штампов L_2 , мм	26,5
Закрытая высота КГШП L_1 , мм	3

Результаты моделирования

Управление	Без оперативной регулировки	С оперативной регулировкой
Отклонение на предварительном переходе штамповки ΔL_2 , мм	+3,5	+3,5
Отклонение на окончательной позиции штамповки ΔL_1 , мм	+2	0
Величина несмыкания штампов L_2 , мм	26,5	26,5
Закрытая высота КГШП L_1 , мм	5	3

Вывод: оперативная регулировка осуществима, отклонения высотного размера поковок могут стабилизироваться оперативной регулировкой закрытой высоты КГШП.

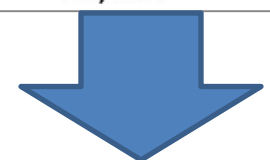
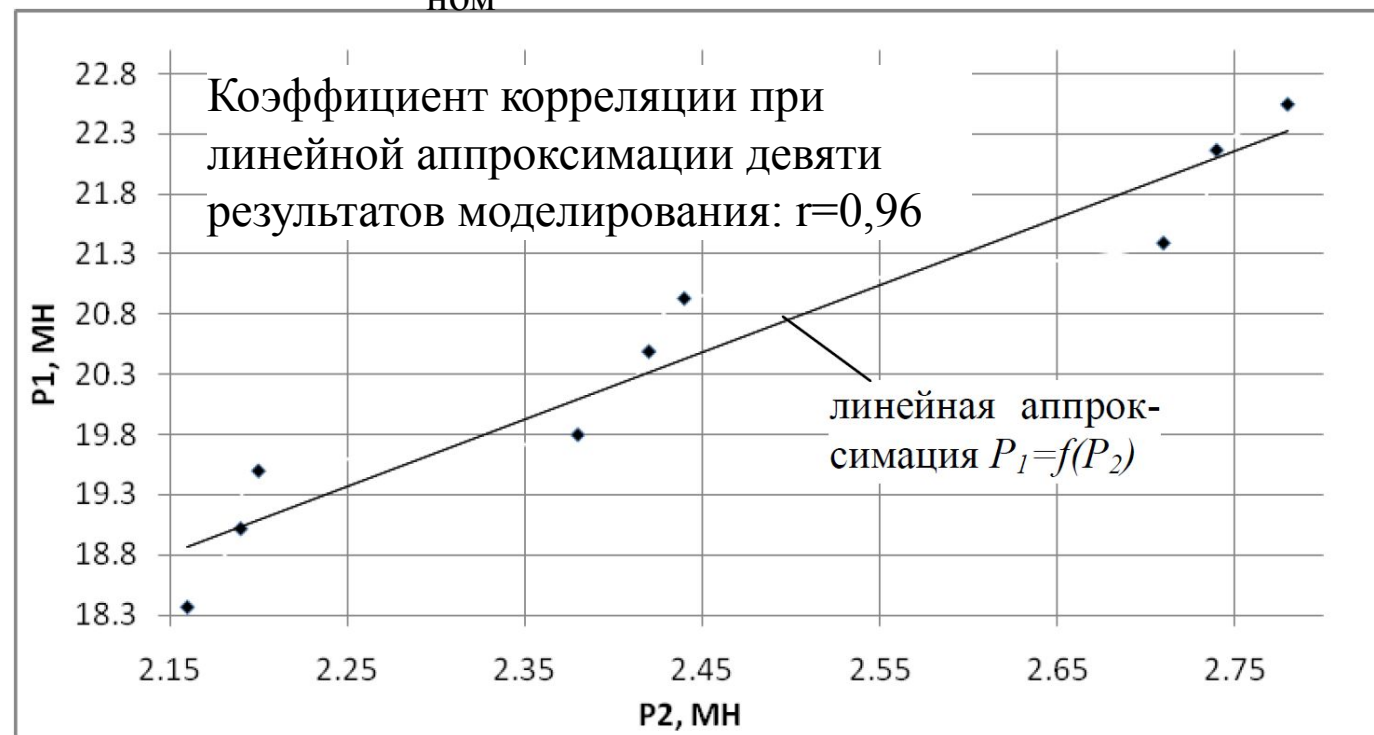
Зависимость сил предварительного и окончательного переходов штамповки от параметров процесса ГОШ на КГШП25МН

Масса заготовки, кг	Температура нагрева заготовки, °С	Сила предварительного перехода штамповки	Сила окончательного перехода штамповки
		P_2 , МН	P_1 , МН
4,51	1200	2.16	18.37
4,58	1200	2.19	19.02
4,65	1200	2.2	19.5
4,51	1150	2.38	19.8
4,58	1150	2.42	20.49
4,65	1150	2.44	20.93
4,51	1100	2.71	21.39
4,58	1100	2.74	22.16
4,65	1100	2.78	22.54

Зависимость сил предварительного и окончательного переходов штамповки от параметров процесса ГОШ на КГШП25МН

Поле допуска по массе:
 $m=4,58\pm 0,07$ кг (3% от $m_{\text{НОМ}}$)

Отклонение температуры нагрева заготовки: $T=1150\pm 50$ C°



$L_1=f(L_2)$ – носит линейный характер

Адаптивная модель работы механизма оперативной регулировки по параметрам процесса ГОШ на КГШП

- Определение имитационной модели изменения закрытой высоты пресса в зависимости от величины несмыкания штампов на КГШП: $L_1 = a_1 + a_2 \cdot L_2$;
- Определение коэффициентов имитационной модели:

$$\sum (L_{1i} - f(L_{2i}))^2 \longrightarrow MIN$$

- Расчет сигнала управления: $\Delta L_y = [L_0] - L_1$;

где $[L_0]$ – номинальное значение закрытой высоты КГШП;

- Реализация оперативной регулировки закрытой высоты КГШП за время 1-2с (время технологической паузы 2-3с);

Блок-схема имитационной модели системы управления механизмом оперативной регулировки закрытой высоты КГШП

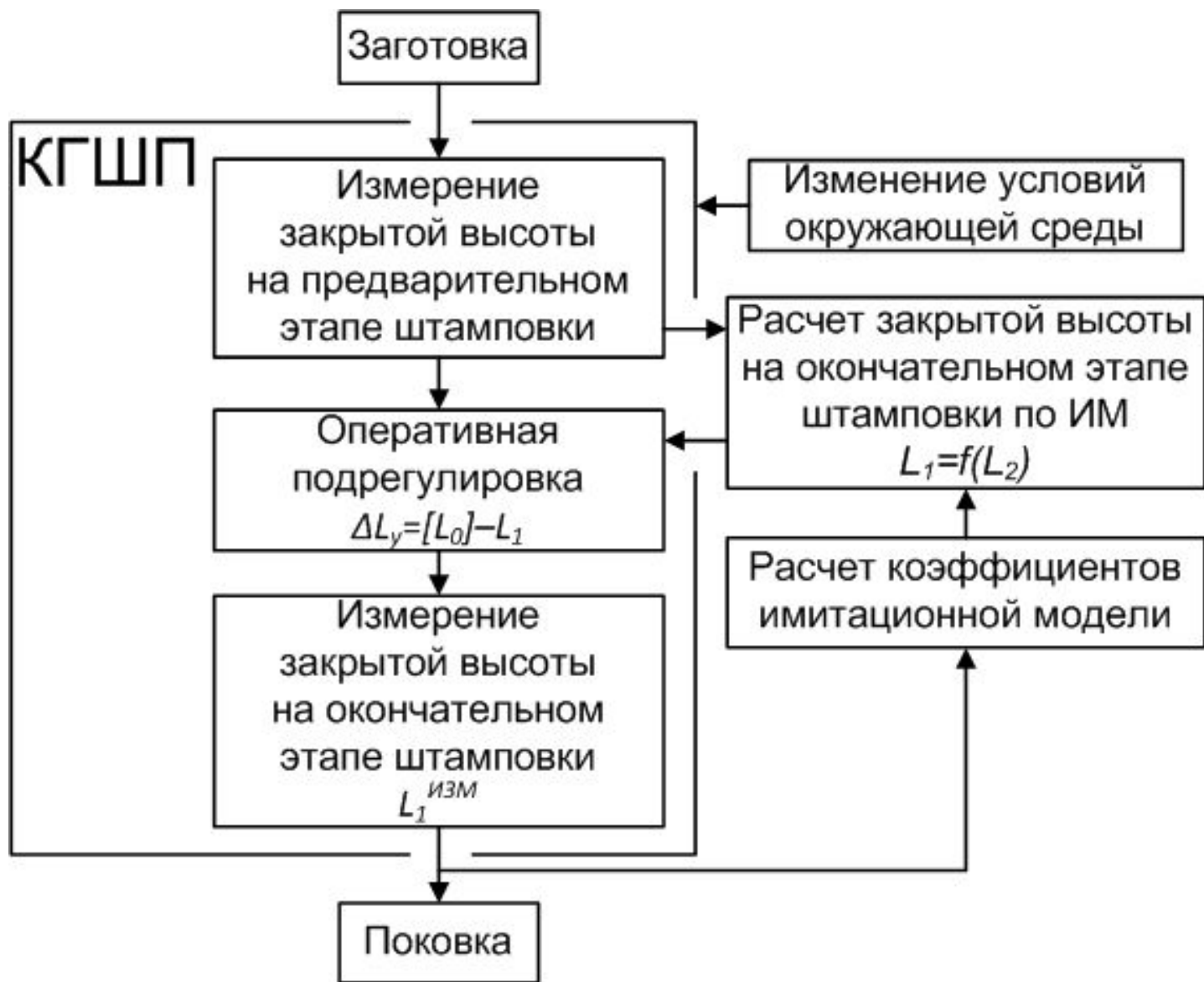
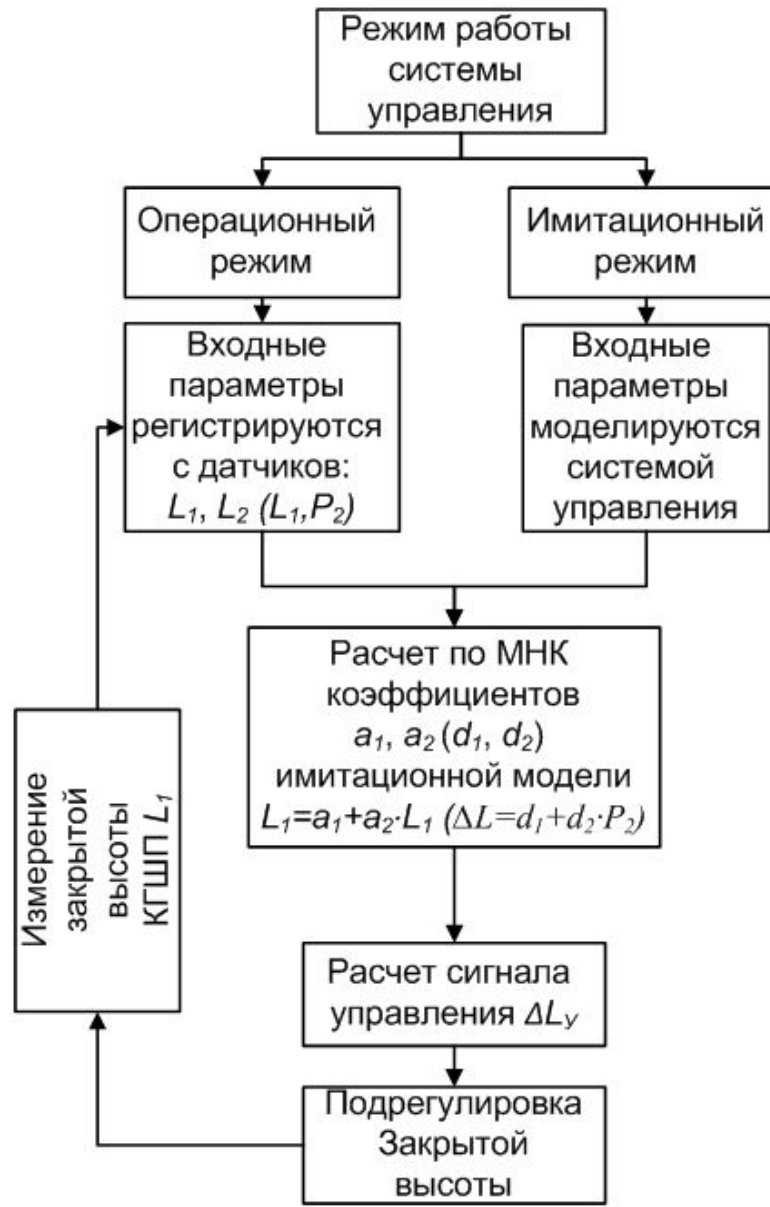


Схема работы адаптивной системы управления механизмом регулировки закрытой высоты КГШП 25МН (по программе Диана)



Интерфейс программы Диана

Файл Режим работы Алгоритм ?

	Нпоковки	L2	L1	L1 без упр.	DeltaFi	SIG_MOTOR	кач. упр.
	1	24.71	3.05	2.48	28.79	327.02	0.58
	2	25.27	3.05	2.53	-3.12	-35.49	0.51
	3	24.86	3.05	2.49	2.26	25.65	0.56
	4	24.59	3.05	2.46	1.53	17.41	0.59
	5	24.62	3.05	2.47	-0.17	-2.02	0.58
	6	24.54	3.05	2.46	0.43	4.93	0.59
	7	24.64	3.05	2.47	-0.55	-6.38	0.58
	8	24.84	3.05	2.49	-1.06	-12.15	0.56
	9	24.66	3.05	2.47	0.95	10.75	0.58
	10	25.11	3.05	2.52	-2.45	-27.97	0.53
	11	25.16	3	3.32	-44.36	-503.99	-0.31
	12	23.78	3	3.94	-33.79	-383.98	-0.93
	13	23.96	3.03	3.03	49.95	0	0

Исходные данные

	а1	а2
	0.006	0.1

Протокол работы системы управления

	Нпоковки	а1	а2
	11	3.3	0
	12	3.91	0
	13	2.66	0.02
	14	2.68	0.01
	15	2.68	0.01
	16	2.69	0.01
	17	2.68	0.01
	18	2.7	0.01

Рассчитываемые коэффициенты имитационной модели

Отклонения номинальных высот
+Δ L2 2 -Δ L2 -1 +Δ L1 0.2 -Δ L1 0.2

Номинальные значения высот
L2 ном. 23 L1 ном. 3

Время греберной подачи t греб. 0.7 Предварительная выборка N пред 10

Погрешность измерения датчика
+Δ изм 0.001 -Δ изм 0.001

Суммарная величина зазоров
Reg.0 0

Погрешность регулировки сервопривода
+Δ Мотор 0.001 -Δ Мотор 0.001

Передаточное отношение i 55 Перевод в инкременты Кинкр 11.36

а1min 0.001 Округление до знаков 2

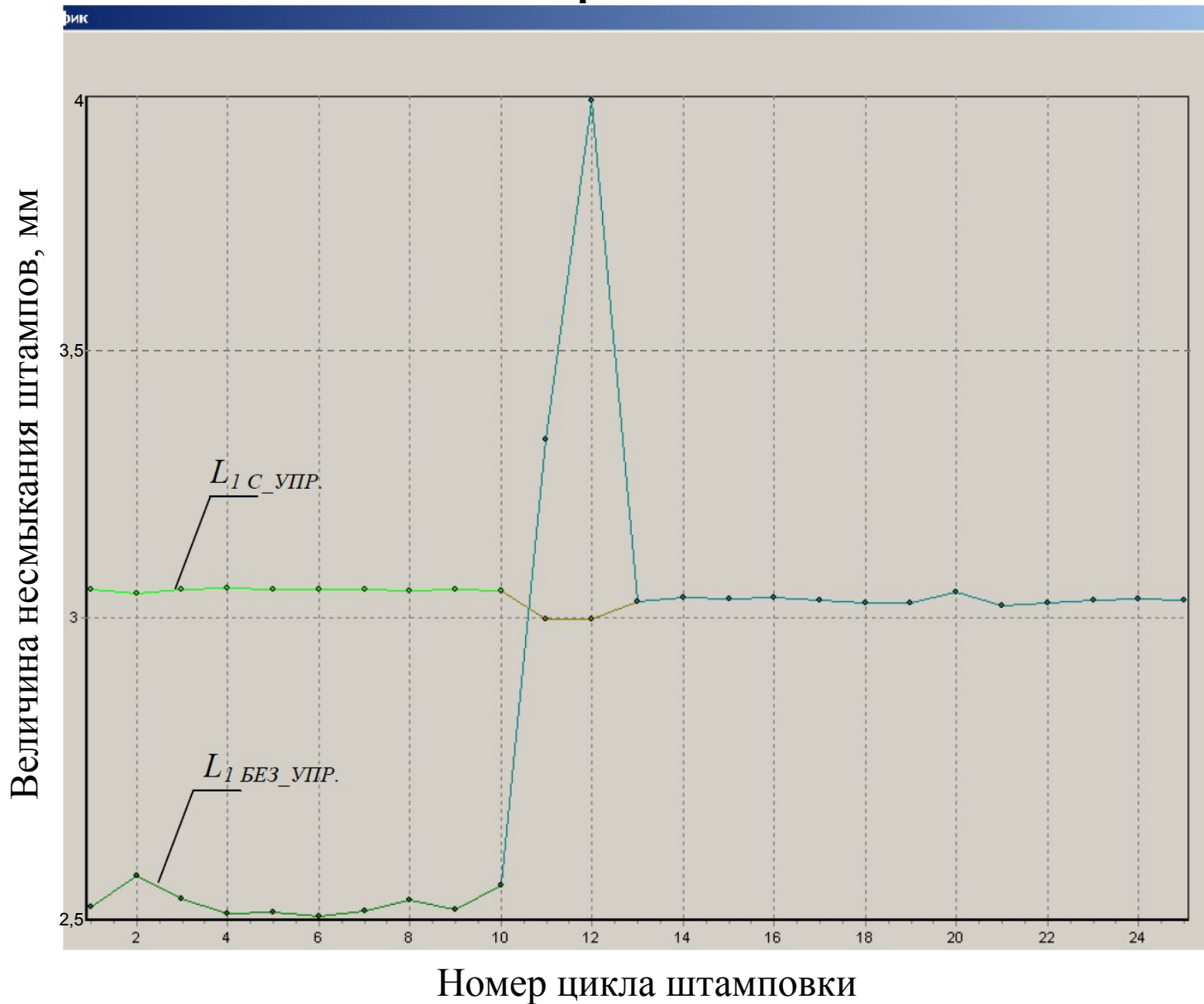
Вывод графиков
 Кач. упр L2
 L1 L1 без упр.

Отобразить график График

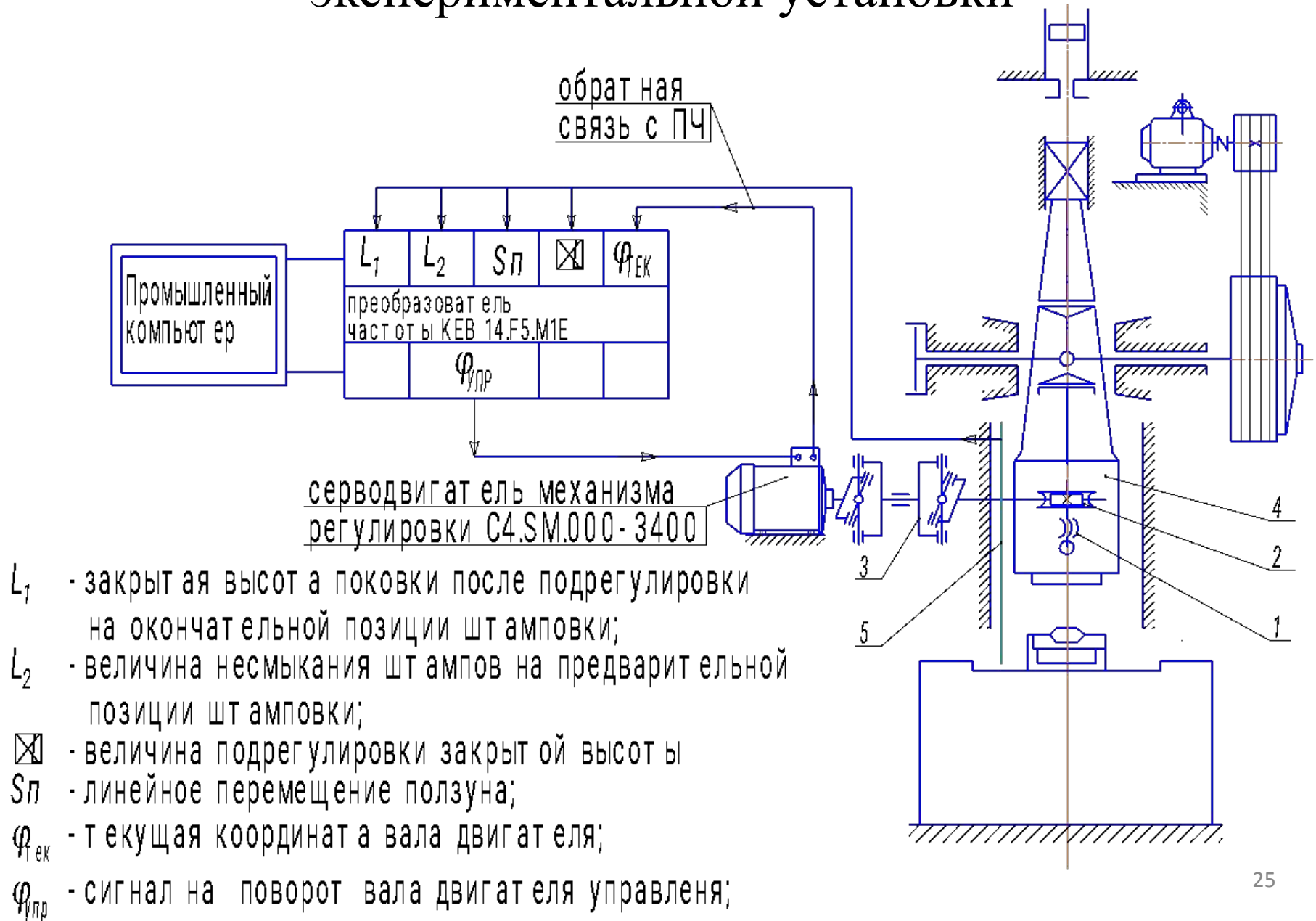
Расчет Стоп

+Δ L2 3.5 -Δ L2 -3.5
Шаг номер 20

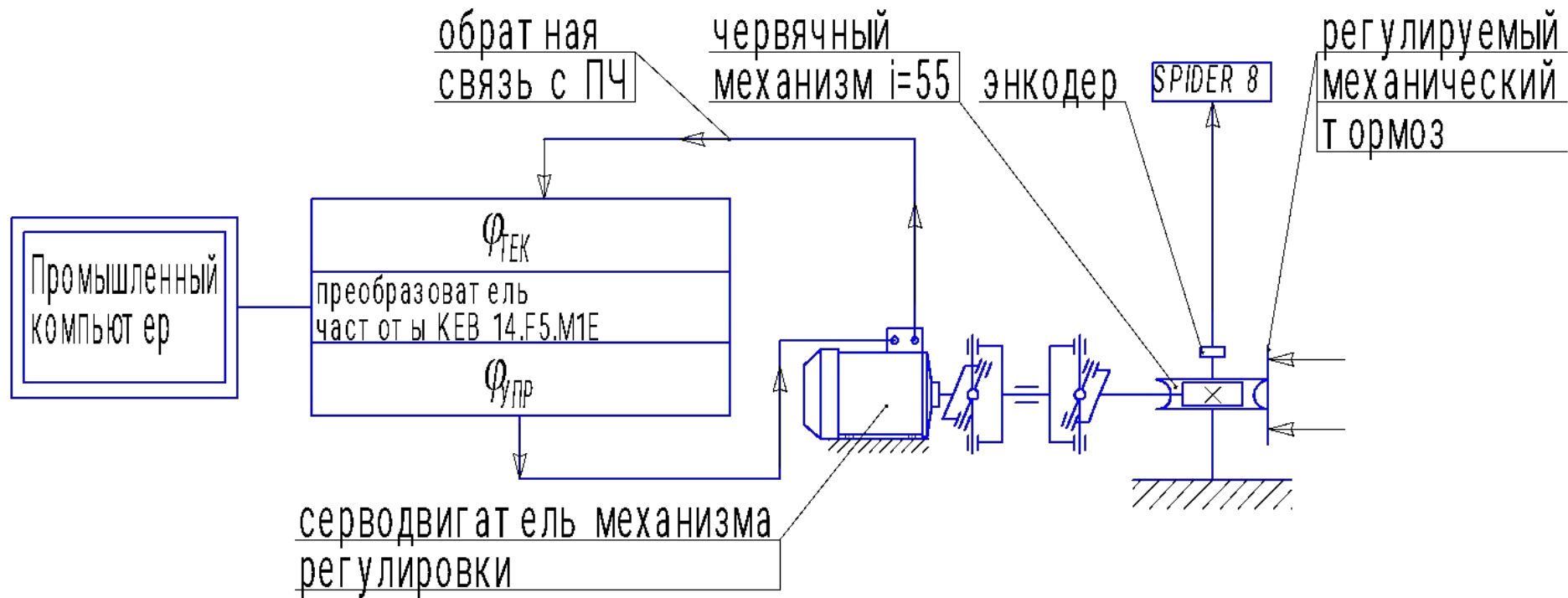
Визуализация результатов работы имитационной модели изменения закрытой высоты КГШП



Кинематическая схема, приборы и датчики экспериментальной установки



Кинематическая схема механизма экспериментального стенда



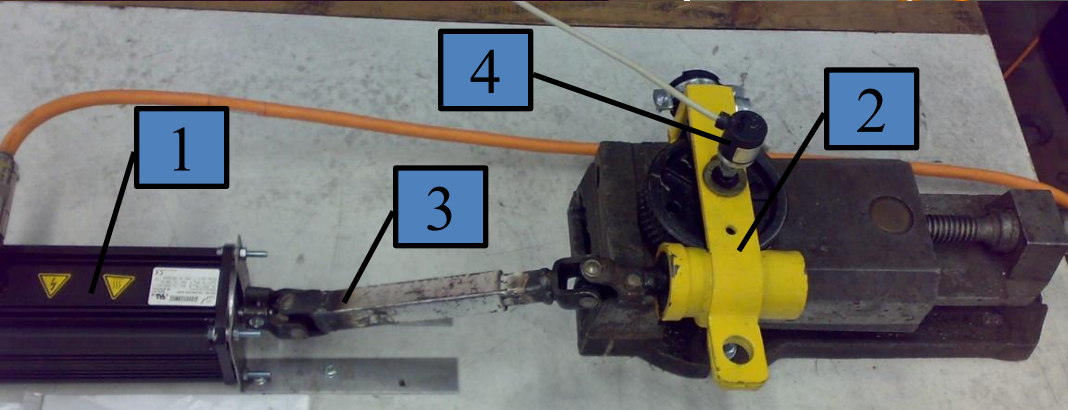
$\varphi_{\text{упр}}$ - сигнал на поворот вала двигателя управления.

$\varphi_{\text{тек}}$ - текущее значение координаты вала двигателя

Экспериментальная установка



- 1-синхронный двигатель механизма оперативной подрегулировки закрытой высоты КШП 630кН ($M_n=5\text{Нм}$, $P_n=1,57\text{кВт}$)
- 2-червячный механизм оперативной регулировки закрытой высоты КШП 630кН;
- 3-телескопический карданный вал;
- 4-датчик угла поворота винтовой передачи;
- 5-преобразователь частоты ($P_n=1,57\text{кВт}$);

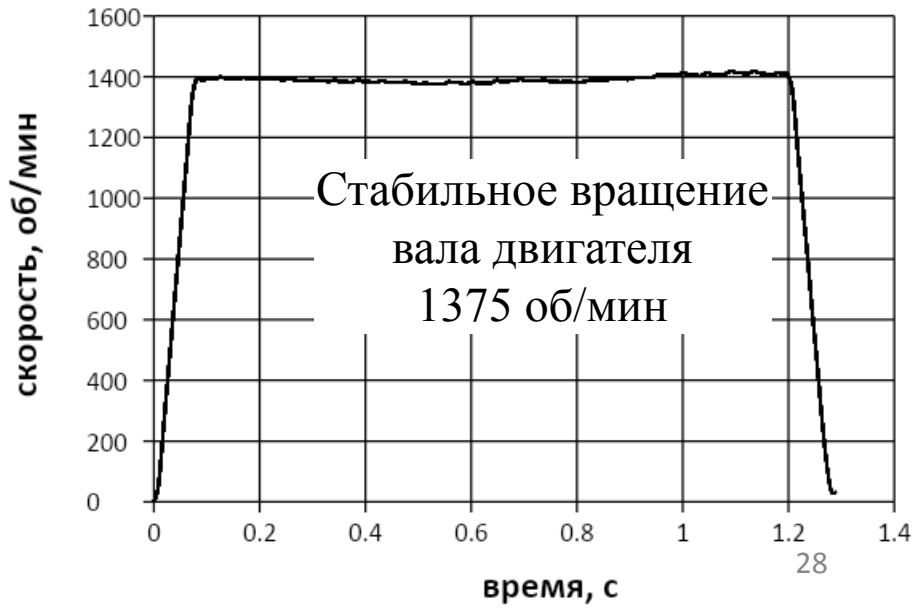
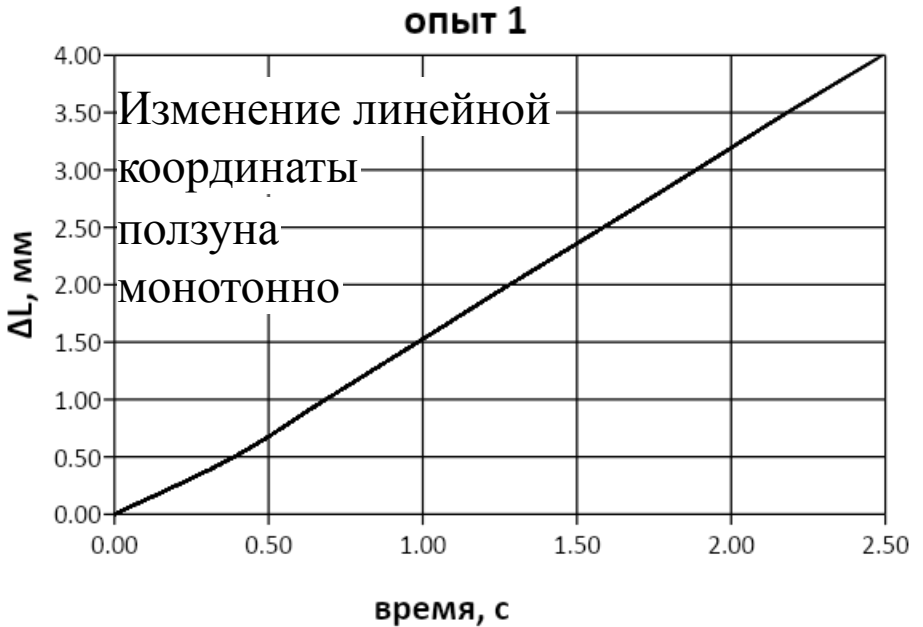
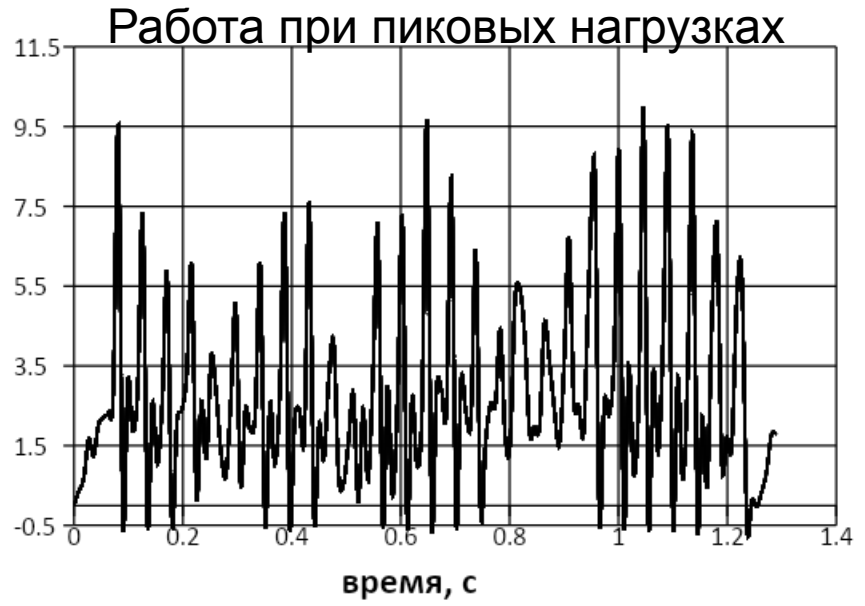


Стабильность и время оперативной регулировки закрытой

ВЫСОТЫ

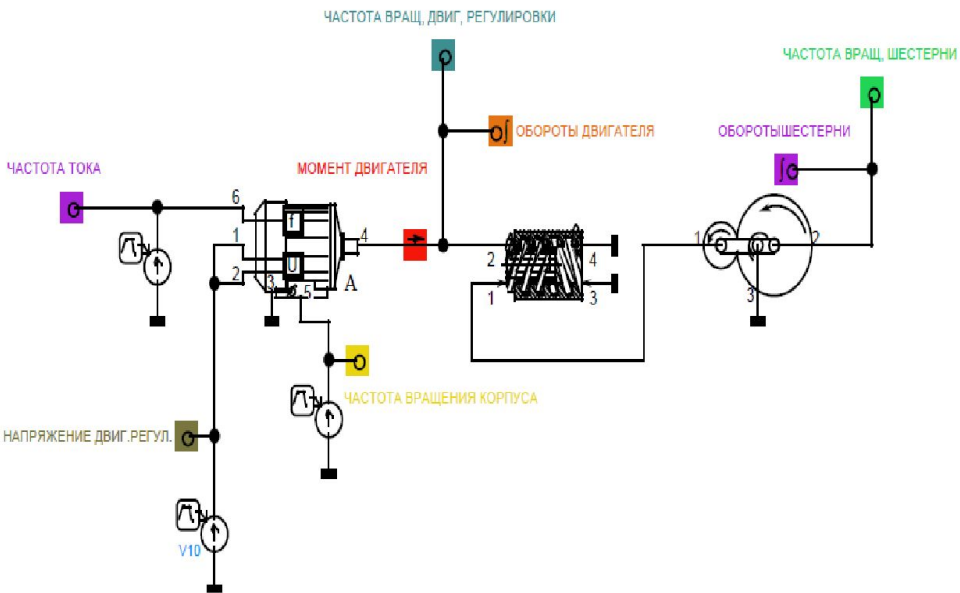
Опыт 1		Опыт 2		Опыт 3		Опыт 4	
время, с	ΔB , мм	время, с	ΔB , мм	время, с	ΔB , мм	время, с	ΔB , мм
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	0.50	0.39	0.50	0.39	0.50	0.38	0.50
0.69	1.00	0.68	1.00	0.68	1.00	0.69	1.00
0.98	1.50	0.98	1.50	0.99	1.50	0.97	1.50
1.28	2.00	1.29	2.00	1.28	2.00	1.28	2.00
1.59	2.50	1.59	2.50	1.58	2.50	1.58	2.50
1.89	3.00	1.95	3.00	1.88	3.00	1.88	3.00
2.18	3.50	2.18	3.50	2.19	3.50	2.18	3.50
2.49	4.00	2.48	4.00	2.40	4.00	2.48	4.00

момент на валу двигателя, Нм



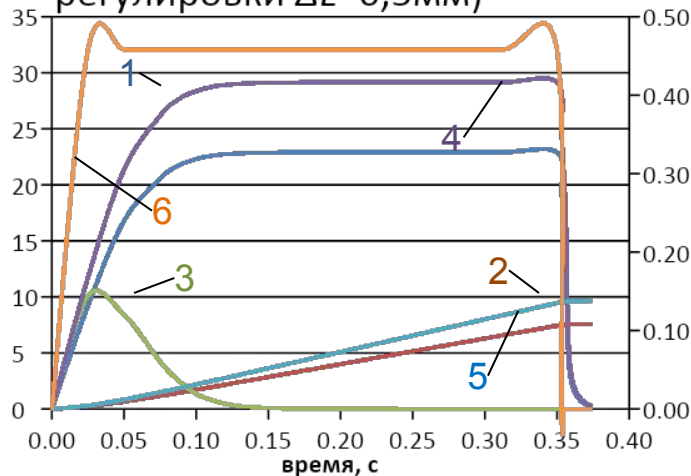
Моделирование работы стенда в ПА-9

Результаты моделирования согласуются с результатами эксперимента



1-частота вращения двигателя, об/с
2-обороты двигателя, об
3-момент двигателя, Нм

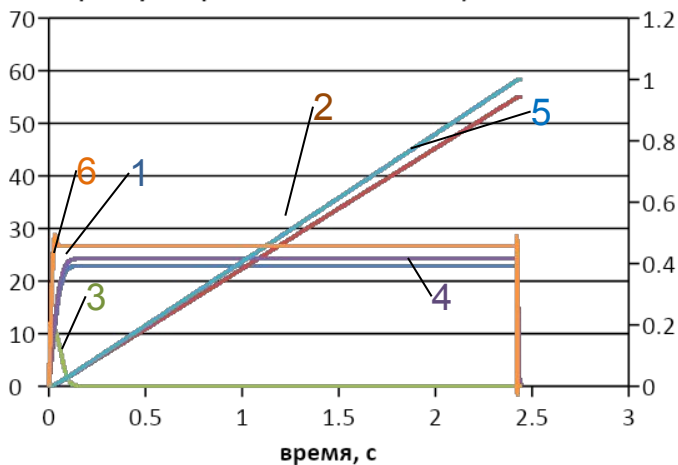
$\varphi_{УПР}=45^\circ$ (задание величины регулировки $\Delta L=0,5\text{мм}$)



Величина регулировки - 0,55мм

4-частота вращения шестерни, об/с
5-обороты шестерни, об
6-относит. частота тока управления

$\varphi_{УПР}=360^\circ$ (задание величины регулировки $\Delta L=4\text{мм}$)

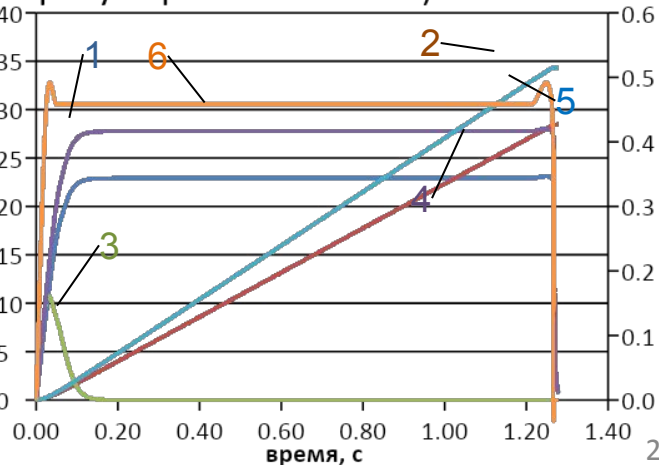


Величина регулировки - 4мм

4-частота вращения шестерни, об/с
5-обороты шестерни, об
6-относит. частота тока управления

$\varphi_{УПР}=180^\circ$ (задание величины регулировки $\Delta L=2\text{мм}$)

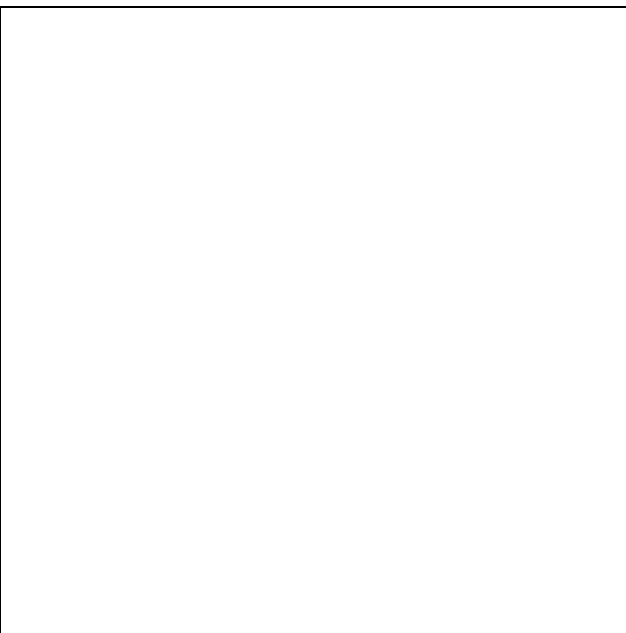
1-частота вращения двигателя, об/с
2-обороты двигателя, об
3-момент двигателя, Нм



Величина регулировки - 2мм

4-частота вращения шестерни, об/с
5-обороты шестерни, об
6-относит. частота тока управления

Точность позиционирования механизма оперативной регулировки закрытой высоты

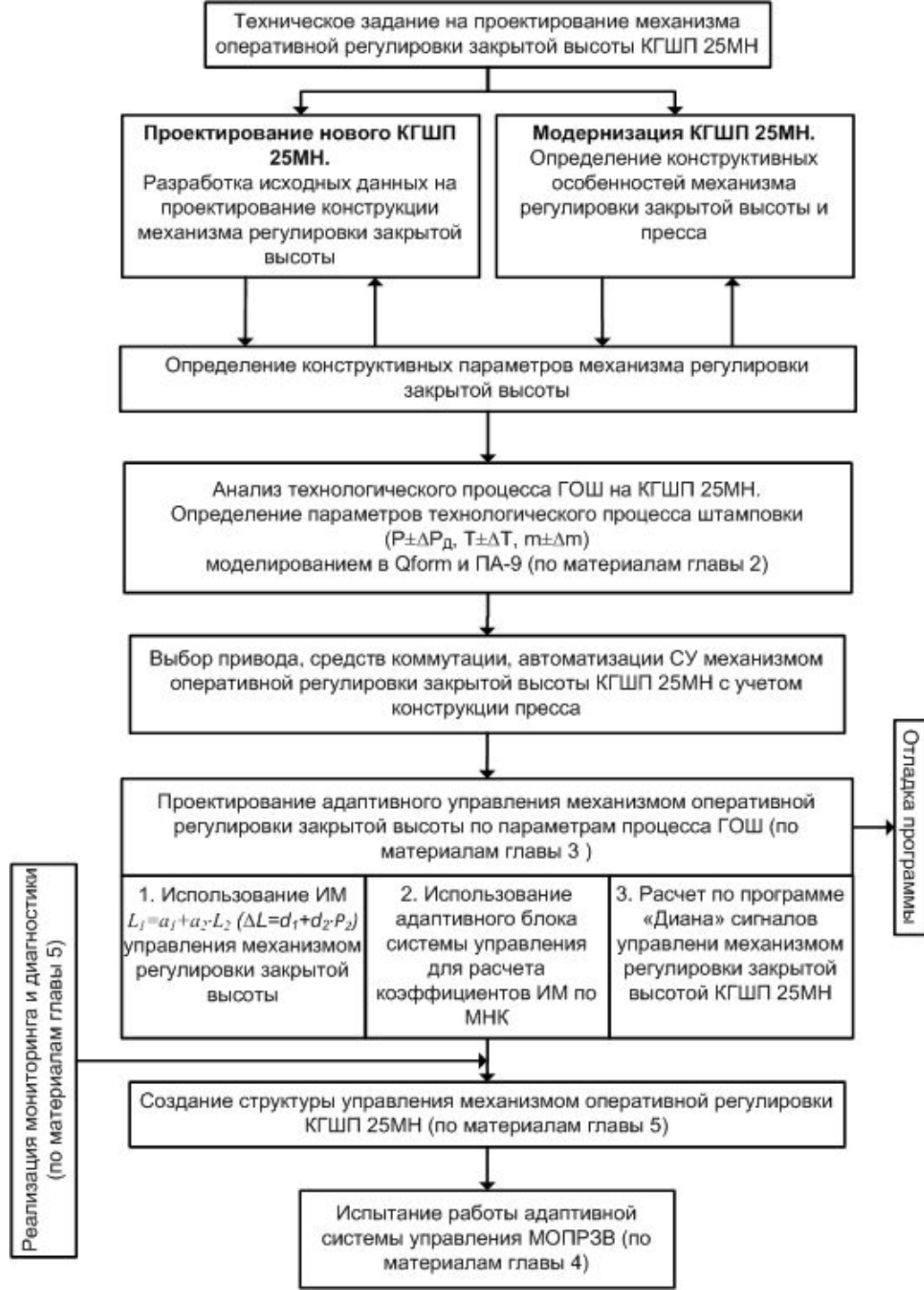


Определение угла поворота шестерни : интегрирование диаграммы скорости вращения от времени

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
φ , град.	363	355	362	356	357	355	358	353
$\Delta\varphi$, град	+3	-5	+6	-4	-3	-5	-2	-7
S_{II} мм	4,03	3,95	4,02	3,96	3,97	3,95	3,98	3,93
ΔS_{II} мм	+0,03	-0,05	+0,06	-0,04	-0,03	-0,05	-0,02	-0,07

Доверительный интервал:
 $P=0,95$

Точность линейного позиционирования ползуна:
 $S_{II}=3,97\pm 0,03$ мм



Выводы по семинару

- В настоящее время проектирование КГШП проводится без учета нестабильности параметров процесса ГОШ: температуры, массы (объема), термической деформации штамповых вставок и других факторов технологического процесса.
- Задачу повышения точности высотного размера поковок целесообразно решать на основе разработанной в семинаре системы адаптивного управления механизмом оперативной регулировки закрытой высоты пресса. Обратной связью такой системы управления служит величина межштампового пространства на окончательной позиции штамповки.
- Разработку системы адаптивного управления целесообразно проводить по стратегии измерения величины несмыкания штампов на предварительном этапе штамповки с обратной связью по измеряемой закрытой высоте межштампового пространства на окончательной позиции штамповки.
- На основе теоретических исследований разработана программа управления механизмом регулировки закрытой высоты "Диана" с имитационной моделью работы механизма оперативной регулировки КГШП 25МН.
- Установлена достоверность теоретических исследований и подтверждена возможность оперативной регулировки закрытой высоты КШП 630кН на величину 1,5мм, что соответствует максимальной величине подрегулировки КГШП 25МН, во время технологической паузы 3с между операциями 2-х, 3-х переходной штамповки время оперативной регулировки при этом не превышает 1с. Время оперативной подрегулировки до 1мм, не превышает 0,7с.