

После замены величин воздействия и реакции формула принимает следующий вид:

$$R_3 = R_0 \cdot (1 + a \cdot U_1)$$

Проверка уровня вложенности дает информацию о его равенстве единице. Вид уравнения с учетом раскрытия скобок:

$$R_3 = R_0 + a \cdot U_1 + R_0$$

Просмотр формулы не дал возможности заменить ни одну величину на ее аналог ЭИМ.  $R_0$  и  $a$  являются физическими константами, не требующими замены на аналоги.

Для выделения коэффициента берутся все параметры при величине реакции

$$K_3 = R_0 \cdot a$$

Вид итоговой формулы.

$$R_3 = R_0 + U + K_3$$

### Заключение

1. Разработана онтология для описания физических эффектов и преобразования их в величины-аналоги и параметры-аналоги ЭИМЦ. Она позволит пользователю автоматизированной системы поддержки инженерного творчества формулировать задание на синтез в терминах стандартных физических величин для цепей различной физической природы. При этом формулировка задания может быть достаточно гибкой, а пользователь может не знать взаимосвязи между задаваемой им физической величиной и величиной ЭИМЦ.

2. Предложена авторская методика автоматизированного преобразования физических формул в их аналоги, выраженные в терминах ЭИМЦ и описывающие ФТЭ.

### Список литературы

1. Зарипов М. Ф., Зайнуллин Н. Р., Петрова И. Ю. Энергоинформационный метод научно-технического творчества : учеб.-метод. пособие. М. : ВНИИПИ, 1988. 124 с.
2. Камаев В. А., Яковлев А. А. Моделирование физических принципов действия и формирование множеств технических решений преобразователей энергии // Информационные технологии. 2006. № 1. С. 2–8.
3. Zaripov M., Petrova I., Zaripova V. Project of creation of knowledge base on physical and technological effects // Joint IMEKO TC-1 & XXXIV MKM Conference Education in Measurements and Instrumentation – Challenges of New Technologies 2002, Proceedings of TC-1 Symposium. 2002. Vol. 1. P. 171–176.
4. Петрова И. Ю., Зарипова В. М., Лежнина Ю. А. Датчики для информационно-измерительных и управляющих систем интеллектуальных зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2014. № 1 (7). С. 113–120.
5. Зарипова В. М., Петрова И. Ю. Модель развития средств автоматизации инновационных процессов (COMPUTER AIDED INNOVATION – CAI) // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 3. С. 111–130.
6. Зарипова В. М., Петрова И. Ю., Цырульников Е. С. Классификация автоматизированных систем поддержки инновационных процессов на предприятии (COMPUTER AIDED INNOVATION – CAI) // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2012. № 1. С. 26–35.
7. Зарипов М. Ф., Петрова И. Ю. Морфологический анализ и синтез чувствительных элементов систем управления // Датчики и системы. 2002. № 5. С. 10–14.
8. Зарипова В. М., Петрова И. Ю. Онтологическая база знаний по физико-техническим эффектам // Перспективы развития строительного комплекса. 2013. Т. 1. С. 188–194.
9. Зарипова В. М., Петрова И. Ю., Лежнина Ю. А., Фабер Е. Н. Онтологическая база знаний по физико-техническим эффектам для автоматизации технологических процессов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 4. С. 47–56.
10. Проектирование элементов информационно-измерительных и управляющих систем для интеллектуальных зданий / Д. П. Ануфриев, В. М. Зарипова, Ю. А. Лежнина, О. М. Шикунская, Т. В. Хоменко, И. Ю. Петрова. Астрахань, 2015.

© Д. В. Каширский, К. А. Шумак

#### Ссылка для цитирования:

Каширский Д. В., Шумак К. А. Автоматизированная система преобразования уравнений физико-технических эффектов к терминам энергоинформационной модели цепей // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016. № 1–2 (15–16). С. 102–106.

УДК 624.042.3:621.87

## ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ С МОСТОВЫМИ КРАНАМИ В ПРОГРАММНО-РАСЧЕТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, РЕАЛИЗУЮЩИЕ МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Т. В. Золина, Ю. В. Золин

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет  
ООО «Газпром добыча Астрахань»

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработан аналитический аппарат по оценке и прогнозированию напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов одноэтажных промышленных зданий с мостовыми кранами с учетом случайных факторов различных воздействий и корректировки матрицы жесткости в зависимости от изменения смещений в расчетных точках каркаса в процессе эксплуатации здания. Результаты, полученные в ходе настоящего исследования, могут быть использованы в ряде существующих программно-расчетных комплексов, построенных на использовании метода конечных элементов и интенсивно применяемых в современной практике проектных работ.

Для возможности реализации разработанного комплекса методик в среде SCAD построен алгоритм его адаптации. В качестве примера реализации предложенного алгоритма за исходные данные приняты результаты, полученные по зданию судокорпусного цеха Астраханского морского судостроительного завода.

**Ключевые слова:** одноэтажное промышленное здание, мостовые краны, сочетания действующих нагрузок, остаточный эксплуатационный ресурс, надежность, долговечность.

## THE INTRODUCTION OF ASSESSMENT METHODS OF THE RESIDUAL RESOURCE STOREY INDUSTRIAL BUILDING WITH OVERHEAD CRANES IN SOFTWARE AND DESIGN SYSTEMS, REALIZING THE FINITE ELEMENTS' METHOD

T. V. Zolina, Y. V. Zolin

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

ООО "Gazprom dobycha Astrakhan"

On the basis of theoretical and experimental research we developed an analytical unit for assessment and prediction a stress-strain state of structural elements of single-storey industrial building with overhead cranes based on random factors of different effects and adjusting the stiffness matrix depending on the change in the displacement of settlement points in the frame of the building. The results which are obtained in this study can be used in a number of existing software and computational systems built on the use of the finite element method and intensively used in the practice of modern design work. For realization of the developed methodologies complex in the SCAD environment an algorithm of its adaptation was built. As an example of proposed algorithm realization we take initial data that we received in the building of hull shop of Astrakhan maritime shipyard.

**Keywords:** one-storey industrial building, bridge cranes, a combination of acting loads, residual exploitation resource, reliability and durability.

Предложенная в рамках данного исследования пространственная расчетная схема одноэтажного промышленного здания (ОПЗ) с мостовыми кранами, наиболее полно отражающая напряженно-деформированное состояние несущих конструкций, позволяет выявить функции поведения каждого конструктивного элемента при восприятии комплекса действующих на здание нагрузок [1–4].

Разработанный аналитический аппарат [5–10] направлен на оценку и прогнозирование напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов ОПЗ с учетом случайных факторов силовых и несиловых воздействий и корректировки матрицы жесткости в зависимости от изменения смещений в расчетных точках каркаса в процессе эксплуатации здания.

Установлено, что при длительной эксплуатации в зданиях происходит накопление скрытых и явных дефектов, а также повреждений в узловых сопряжениях конструкций вследствие восприятия каркасом различного рода воздействий, приводящих к значительному снижению несущей способности объекта в целом. В ОПЗ с мостовыми кранами в качестве таких воздействий выступают крановые нагрузки, и в первую очередь боковые силы, не учитываемые в соответствии с нормативными требованиями расчетом [11]. Однако, как показали многочисленные натурные эксперименты, именно они при движении крана с перекосом вызывают колебания каркаса с амплитудами большими, чем возникают при торможении крановых тележек [2, 3]. Процессы коррозии металлических конструкций, образование трещин, разрушение сварных швов и болтовых соединений, возникающих вследствие нарушений норм и правил

технической эксплуатации, только усугубляют ситуацию [12].

Каждый из вышеперечисленных факторов при достижении критического уровня проявления в процессе эксплуатации объекта исследования приводит к резкому снижению его жесткостных характеристик, что потенциально способно повлечь за собой обрушение конструкций каркаса и мостовых кранов.

Представленная методика оценки остаточного ресурса ОПЗ, находящегося в эксплуатации [6], позволяет получить характеристики надежности в корреляционном приближении на основе результатов обследований с использованием вероятностной модели. Однако следует обратить внимание на тот факт, что отследить фактическое изменение состояния каждого конструктивного элемента и узлового сопряжения каркаса при их возможной деградации с последующим введением этих изменений в расчетную схему и матрицу жесткости не представляется возможным. В связи с этим снижение несущей способности конструкций каркаса промышленного здания, обусловленное вышеперечисленными факторами, предлагается учитывать опосредованно – через фиктивное увеличение действующих нагрузок при исходных характеристиках технической системы. В реальности же, наоборот, происходит снижение жесткости отдельных конструктивных элементов вследствие накопления повреждений в узловых сопряжениях, уменьшения сечения из-за коррозионных процессов и т. п. при неизменности нагрузочного фактора.

Однако предложенный опосредованный подход предоставляет возможность оценить и спрогнозировать изменение напряженно-деформированного состояния несущих конструкций

в процессе эксплуатации при случайном характере силовых и несиловых воздействий посредством реализации вероятностных методик расчета.

Получение численных результатов по каждому конкретному промышленному объекту стало возможным благодаря многократному проведению алгоритмов, обеспечивающему комплексное изучение изменений жесткостных характеристик его каркаса. Инструментом достижения указанных целей явился разработанный программный комплекс DINCIB-new [13, 14], позволяющий автоматизировать процесс обработки данных натурных обследований. Они лежат в основе последовательного решения прямой, обратной и прогнозной задач исследования несущей способности технической системы.

В качестве входной информации для прямой задачи выступают исходная матрица жесткости и варианты сочетания нагрузок, для обратной – приращения смещений в узловых точках расчетной схемы. Прогнозная задача строится на коррелированных значениях смещений, полученных на предыдущих этапах исследования в каждой отдельно взятой точке при учете фактора времени [15, 16].

Результатом решения задач являются величины изгибающих моментов  $M$  элементов конструкции, продольных  $N$  и поперечных  $Q$  сил. Изменение их значений носит фиктивный характер, поскольку постановка задач, удовлетворяющих цели исследования, изначально предполагает проведение расчетов при неизменности нагрузочного фактора. Согласно такому подходу полученные результаты интерпретируются как числовые характеристики обобщенной нагрузки, которые позволили бы технической системе достичь фиксированного состояния при известных значениях смещений в контролируемых точках, принимая в качестве основной исходную матрицу жесткости.

Возврат к реальной физической модели объекта исследования осуществляется по итогам выявленных расчетных изменений напряженно-деформированного состояния промышленного здания в процессе эксплуатации при фиксировании нагрузочного компонента посредством корректировки матрицы жесткости его каркаса. По изменению отдельных ее компонентов строятся выводы о степени накопления дефектов и повреждений, а также наличия или отсутствия процесса коррозии металла в элементах конструкции и каркаса в целом.

Результаты, полученные в ходе настоящего исследования, могут быть использованы в ряде уже существующих программно-расчетных комплексов, интенсивно применяемых в современной практике проектных работ. К ним следует

отнести автоматизированные системы конструктивной направленности, такие как SCAD, «ЛИРА», ANSYS. Основная часть алгоритмов численных расчетов в данных программах построена на использовании метода конечных элементов (МКЭ), реализуемого в форме метода перемещений [17].

При наличии ряда преимуществ относительно обозначенных ранее программных средств разработанный по итогам исследований автора автоматизированный комплекс DINCIB-new имеет узкую направленность действия. Он ориентирован на расчет работы конструкций каркаса промышленных зданий, оборудованных мостовыми кранами, в нескольких последовательных интервалах времени эксплуатации, что позволяет по изменению напряженно-деформированного состояния определить величину его остаточного ресурса.

Ограниченность методов и средств технической поддержки, а также отсутствие рычагов выведения готового продукта интеллектуальной собственности на рынок не дают возможности расширить круг потенциальных потребителей программы DINCIB-new. Указанные причины предопределяют целесообразность привнесения в уже зарекомендовавшие себя программно-расчетные комплексы ряда дополнений, получивших теоретическое и экспериментальное обоснование в рамках данного исследования.

В качестве такового, к примеру, может быть выбран проектно-вычислительный комплекс «Structure construction automatic design» (SCAD). Данная автоматизированная система одновременно сочетает в себе мощный аналитический аппарат процессора и простой для восприятия графический интерфейс. Постоянно пополняемая база алгоритмов SCAD направлена на решение широкого спектра задач статики и динамики строительных конструкций, представленных в линейной и нелинейной постановке. Совокупность визуальных форм обеспечивает наглядность построения расчетной схемы проекта и графическую интерпретацию полученных результатов. SCAD – это гибкая система, которая от версии к версии усиливается посредством внедрения новых аналитических и инструментальных результатов исследований.

Для возможности реализации разработанного комплекса методик в среде Structure Construction Automatic Design построен алгоритм его адаптации, направленный на усовершенствование оценки и прогнозирования напряженно-деформированного состояния несущих конструкций каркаса промышленного здания. В качестве примера реализации предложенного

алгоритма за исходные данные приняты результаты, полученные по зданию судокорпусного цеха Астраханского морского судостроительного завода.

Анализ результатов численных расчетов показал, что наибольшие смещения в пространственном каркасе одноэтажного промышленного здания при крановых нагрузках всегда получают колонны поперечной рамы, в створе которой работает мостовой кран. На основании данного факта для анализа напряжений, возникающих в колоннах, в качестве расчетной схемы можно принять указанную плоскую раму.

В программном комплексе SCAD алгоритм расчета плоской стержневой системы строится на использовании двух типов конечных элементов: 1) стержень плоской фермы; 2) стержень плоской рамы.

В пределах элемента первого типа любая нагрузка отсутствует, поскольку она приводится к узлам фермы. Из этого, согласно выполнению условия равновесия, следует равенство усилий, действующих на его концах. В поперечном сечении стержня плоской рамы и на его концах, в отличие от предыдущего случая, возникают продольные и поперечные усилия, а также изгибающие моменты. В общем случае возможны три жесткие связи его присоединения к узлу расчетной схемы (рис. 1).

Загружение плоской рамы в уровне подкрановой балки определяется крановой нагрузкой  $P_{кр}$ , а в уровне покрытия – силой горизонтального отпора  $P_{отп}$ , являющейся реакцией со стороны покрытия и возникающей при пространственной работе каркаса.

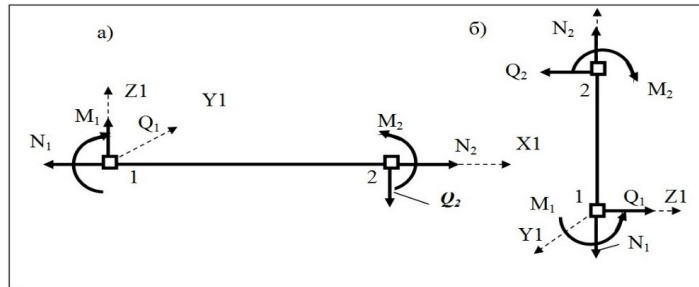


Рис. 1. Связи конечного элемента стержня плоской рамы: а) горизонтальный элемент; б) вертикальный элемент

Крановая нагрузка  $P_{кр}$  и сила горизонтального отпора  $P_{отп}$  определяются путем умножения матрицы жесткости поперечной рамы  $C_p$  на полученные в результате пространственного расчета смещения в уровнях подкрановой балки  $V_{пб}$  и покрытия  $V_{покp}$ .

С учетом изменения жесткостных характеристик несущих конструкций каркаса вследствие их деградации в процессе эксплуатации увеличиваются смещения расчетных точек. Данный процесс опосредованно представляется в виде фиктивного повышения крановой нагрузки в уровне подкрановой балки  $P_{кр}$  и силы горизонтального отпора в уровне покрытия  $P_{отп}$ .

В качестве входной информации для реализации алгоритма средствами SCAD выступают результаты вероятностного расчета, приведенные из программного комплекса DINCIB-new. Они формируют базу данных последовательного решения прямой, обратной и прогнозной задач, обеспечивающих достижение целей исследования.

Так, к примеру, для боковой силы как одной из составляющих крановой нагрузки, введенной с учетом пространственной работы каркаса здания судокорпусного цеха, и соответствующего отпора в уровне покрытия исходные данные представлены в левой части таблицы 1. Увеличение изгибающих моментов, полученных средствами SCAD, от действия боковых сил можно проследить по правой части таблицы 1.

Таблица 1

Показатели действия боковой силы

Вариант	Исходные данные		Изгибающие моменты		
	$F_{бок}, кН$	$F_{отп}, кН$	Части колонны	Средняя колонна	Крайняя правая колонна
Прямая задача	60,93	30,17	верх	82,2	84,7
			низ	216,5	104,6
Обратная задача	67,42	32,92	верх	90,1	92,6
			низ	245,7	117,5
Прогнозная задача	71,88	34,8	верх	95,4	98
			низ	266	126,5

Результаты обобщенного численного расчета величин изгибающих моментов  $M$  средствами SCAD представлены для восьми различных схем приложения нагрузок (табл. 2). Каждый из вариантов обобщенного воздействия включает такие компоненты, как:

- собственный вес металлоконструкций каркаса;
- постоянная нагрузка от веса конструкций кровли и стен;
- временная нагрузка на кровлю (снеговая и эксплуатационная);
- ветровая нагрузка (средняя и пульсационная составляющие);
- вертикальное давление мостовых кранов;
- боковая сила, возникающая при движении крана с перекосом.

Различие между представленными вариантами загрузки заключается в направленности

действия отдельных его составляющих, а также в количестве мостовых кранов, работающих в створе поперечной рамы, и их отображения на расчетной схеме.

Графическая интерпретация результатов расчета, выполненного средствами SCAD в соответствии с рассмотренными схемами приложения нагрузок при решении прогнозной задачи, представлена в виде эпюр изгибающих моментов (рис. 2-7).

В таблицах 3-6 обобщены результаты SCAD-расчета в виде значений изгибающих моментов  $M$ , возникающих в крайних и средней колоннах поперечной рамы, в створе которой работают мостовые краны, от совокупности всех нагрузок, действующих на пространственный каркас судокорпусного цеха Астраханского морского судостроительного завода, при выборе варианта схемы их приложения.

Таблица 2

Схемы приложения нагрузок на поперечную раму

<p><i>Схема 1</i></p>	<p>Поперечная рама с мостовым краном в виде распорки, расположенным в правом пролете, при действии максимального вертикального давления и боковой силы на правую крайнюю колонну и ветровой нагрузки на здание слева</p>
<p><i>Схема 2</i></p>	<p>Поперечная рама с мостовым краном в виде распорки, расположенным в правом пролете, при действии максимального вертикального давления и боковой силы на правую крайнюю колонну и ветровой нагрузки на здание справа</p>
<p><i>Схема 3</i></p>	<p>Поперечная рама с мостовым краном, не являющимся распоркой, расположенным в правом пролете, при действии максимального вертикального давления и боковой силы на правую крайнюю колонну и ветровой нагрузки на здание слева</p>
<p><i>Схема 4</i></p>	<p>Поперечная рама с мостовым краном, не являющимся распоркой, расположенным в правом пролете, при действии максимального вертикального давления и боковой силы на правую крайнюю колонну и ветровой нагрузки на здание справа</p>

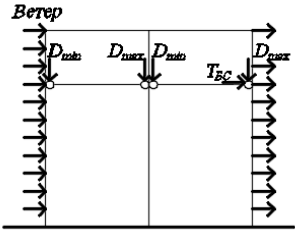
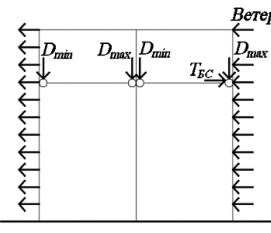
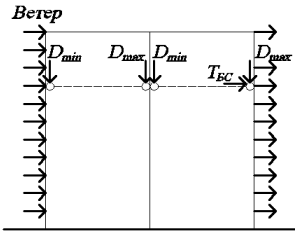
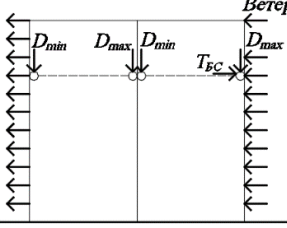
 <p>Схема 5</p>	<p>Поперечная рама с мостовыми кранами в виде распорки, расположенными в обоих пролетах, при действии максимального вертикального давления и боковой силы на правую крайнюю колонну, максимального вертикального давления на среднюю колонну и ветровой нагрузки на здание слева</p>
 <p>Схема 6</p>	<p>Поперечная рама с мостовыми кранами в виде распорки, расположенными в обоих пролетах, при действии максимального вертикального давления и боковой силы на правую крайнюю колонну, максимального вертикального давления на среднюю колонну и ветровой нагрузки на здание справа</p>
 <p>Схема 7</p>	<p>Поперечная рама с мостовыми кранами, не являющимися распоркой, расположенными в обоих пролетах, при действии максимального вертикального давления и боковой силы на правую крайнюю колонну, максимального вертикального давления на среднюю колонну и ветровой нагрузки на здание слева</p>
 <p>Схема 8</p>	<p>Поперечная рама с мостовыми кранами, не являющимися распоркой, расположенными в обоих пролетах, при действии максимального вертикального давления и боковой силы на правую крайнюю колонну, максимального вертикального давления на среднюю колонну и ветровой нагрузки на здание справа</p>

Таблица 3

Результаты расчета по МКЭ (SCAD) – максимальные значения изгибающих моментов  $M$  (кНм), возникающих в колоннах при приложении нагрузок по схемам 1 и 2

Вариант задачи	Часть колонны	Схема 1			Схема 2		
		$M_{лк}$	$M_{ск}$	$M_{пк}$	$M_{лк}$	$M_{ск}$	$M_{пк}$
Прямая	верхняя	110,7	171,4	692,6	124,6	983,8	104,0
	нижняя	825,5	3216,6	892,6	1387,2	1928,5	911,0
Обратная	верхняя	109,6	179,3	684,6	125,4	991,7	96,0
	нижняя	829,9	3245,8	905,5	1382,8	1899,3	898,1
Прогнозная	<b>верхняя</b>	108,9	184,7	679,2	126,0	<b>997,0</b>	90,6
	<b>нижняя</b>	833,0	<b>3266,0</b>	914,4	1379,7	1879,1	889,1

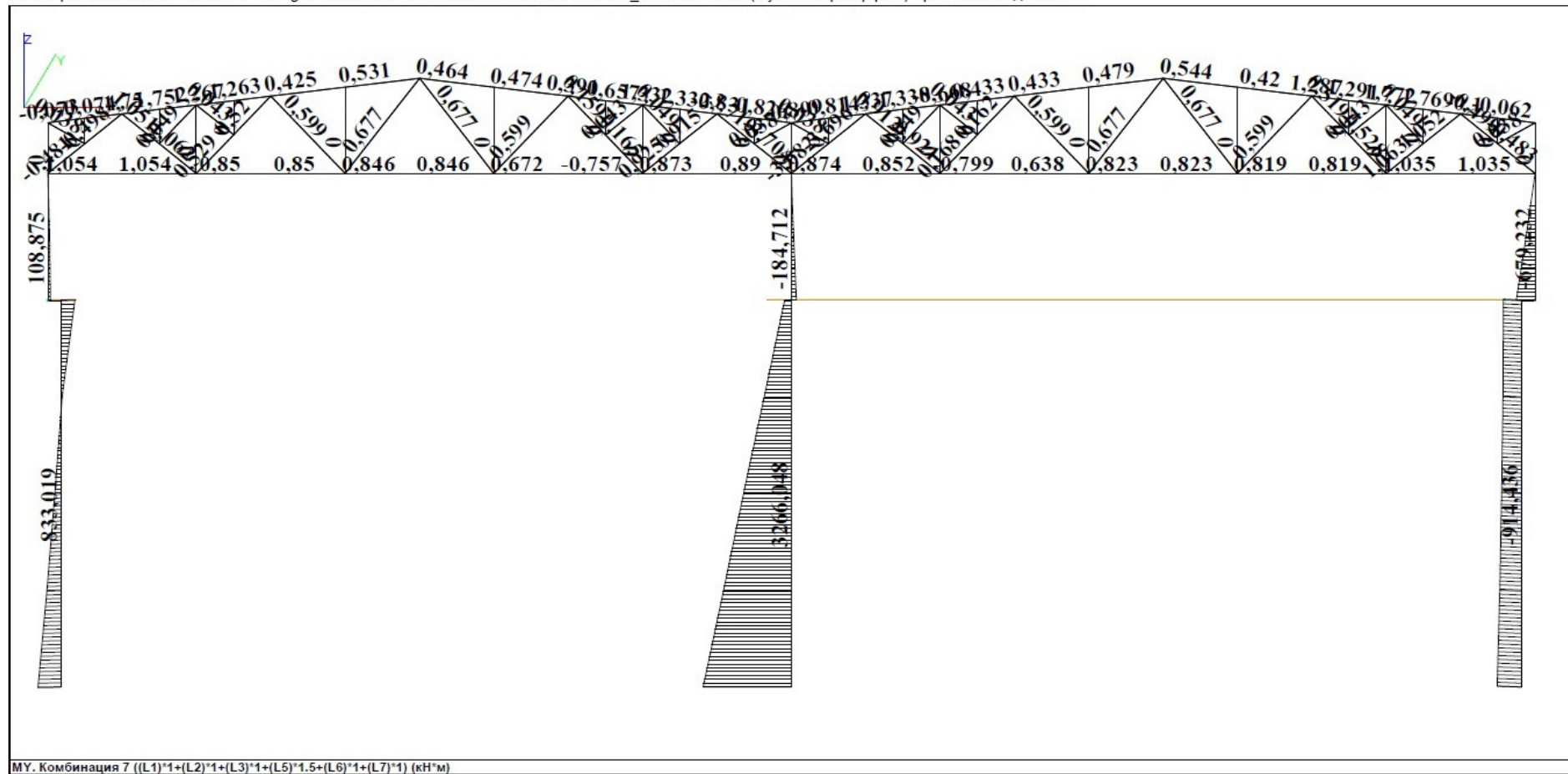
Примечание. Максимальные значения  $M$  в верхней части средней колонны возникают при приложении нагрузок по схеме 2, в нижней части средней колонны – по схеме 1.

Таблица 4


Результаты расчета по МКЭ (SCAD) – максимальные значения изгибающих моментов  $M$  (кНм), возникающих в колоннах при приложении нагрузок по схемам 3 и 4

Вариант задачи	Часть колонны	Схема 3			Схема 4		
		$M_{лк}$	$M_{ск}$	$M_{пк}$	$M_{лк}$	$M_{ск}$	$M_{пк}$
Прямая	верхняя	105,2	463,1	170,9	131,9	681,9	56,1
	нижняя	876,9	2356,8	1749,8	1381,2	2402,2	508,3
Обратная	верхняя	104,0	466,4	185,4	132,8	678,6	41,7
	нижняя	882,1	2370,2	1777,8	1376,0	2388,8	480,3
Прогнозная	верхняя	103,1	468,7	195,3	133,5	676,3	34,2
	<b>нижняя</b>	885,7	2379,6	<b>1797,1</b>	1372,4	2379,4	461,0

Примечание. Максимальные значения  $M$  в нижней части правой крайней колонны возникают при приложении нагрузок по схеме 3.

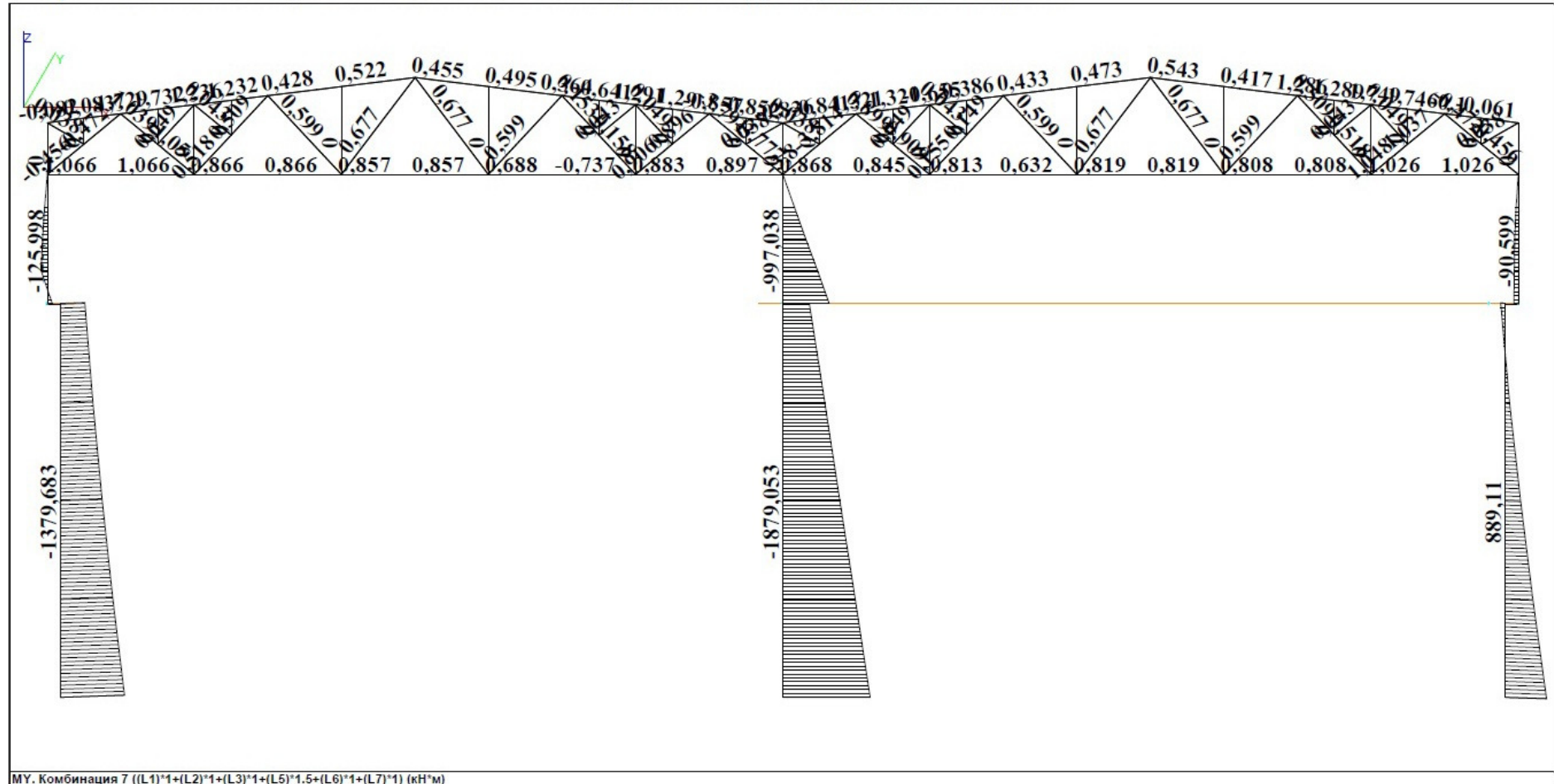



МУ. Комбинация 7 ((L1)\*1+(L2)\*1+(L3)\*1+(L5)\*1.5+(L6)\*1+(L7)\*1) (кН\*м)

 Structure CAD® 11.1	
Организация	Т.В. Золина
Объект	
Проект	Расчёт рамы

Максимальный изгибающий момент (кНм) в нижней части средней колонны, возникающий на этапе прогнозной задачи при приложении нагрузок по схеме 1

Рис. 2. Эпюра изгибающих моментов от действия нагрузок, приложенных по схеме 1, при решении прогнозной задачи



 Structure CAD® 11.1	
Организация	Т.В. Золина
Объект	
Проект	Расчёт рамы

Максимальный изгибающий момент (кНм) в верхней части средней колонны, возникающий на этапе прогнозной задачи при приложении нагрузок по схеме 2

Рис. 3. Эпюра изгибающих моментов от действия нагрузок, приложенных по схеме 2, при решении прогнозной задачи



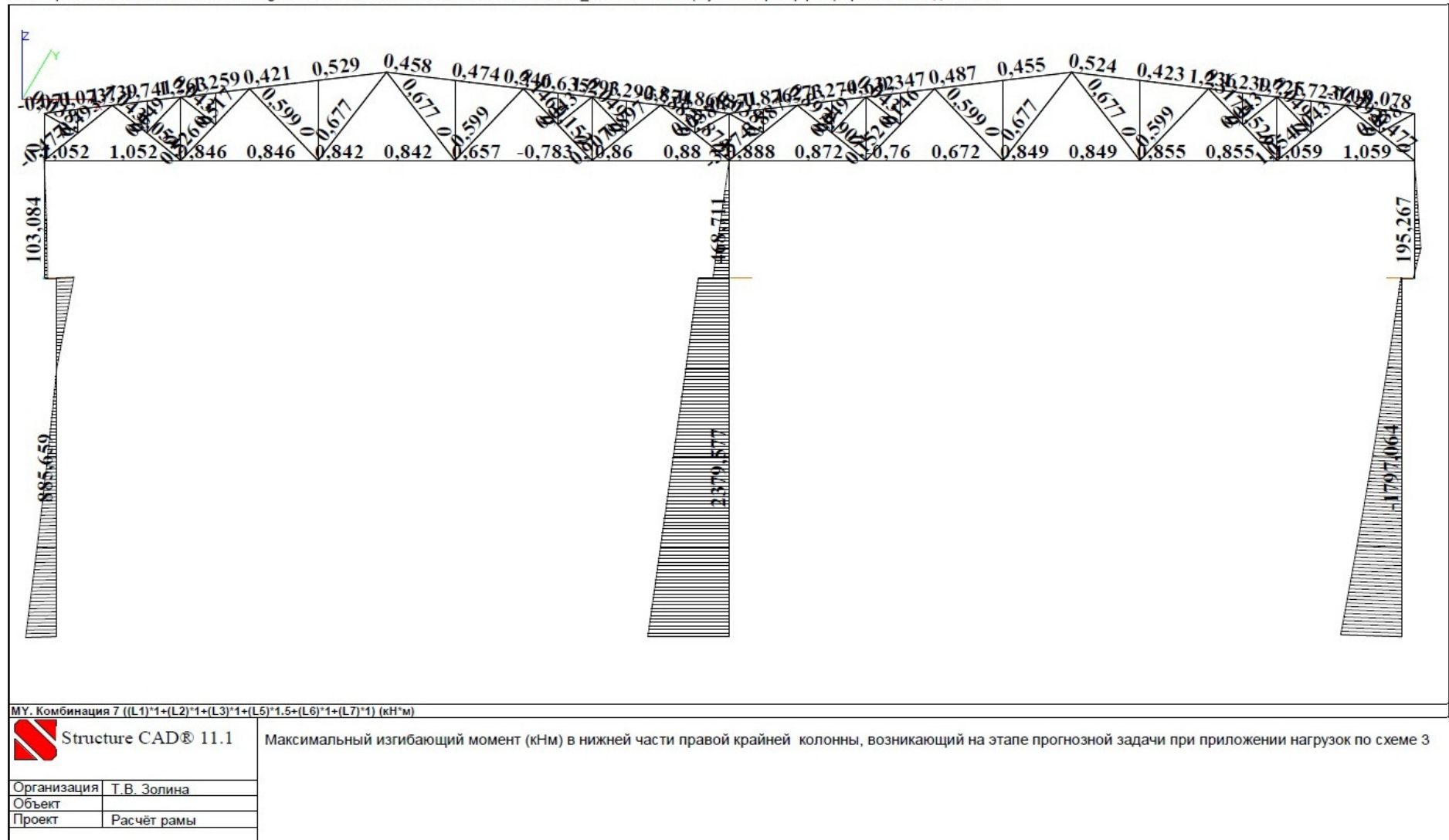
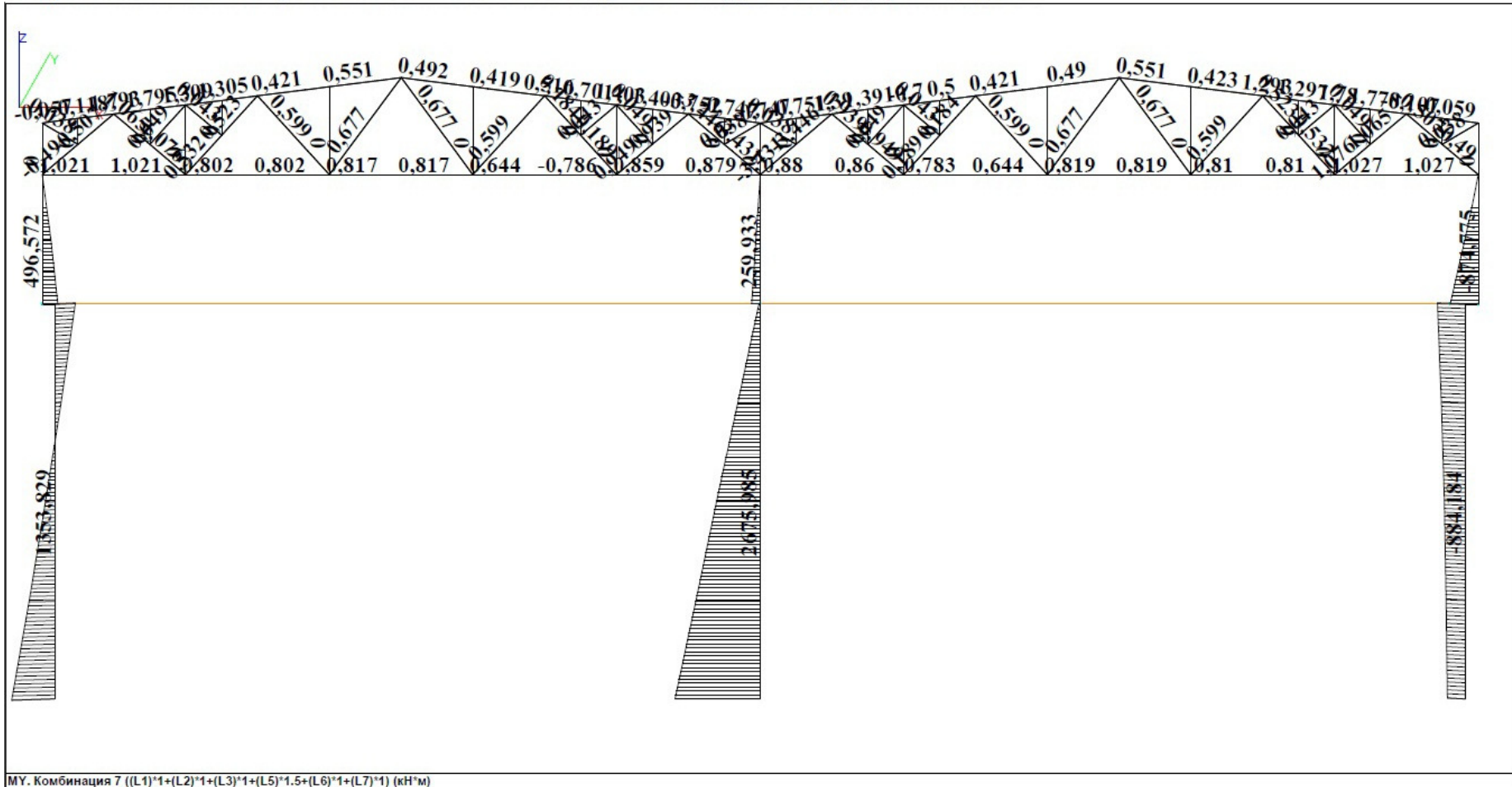



Рис. 4. Эпюра изгибающих моментов от действия нагрузок, приложенных по схеме 3, при решении прогнозной задачи



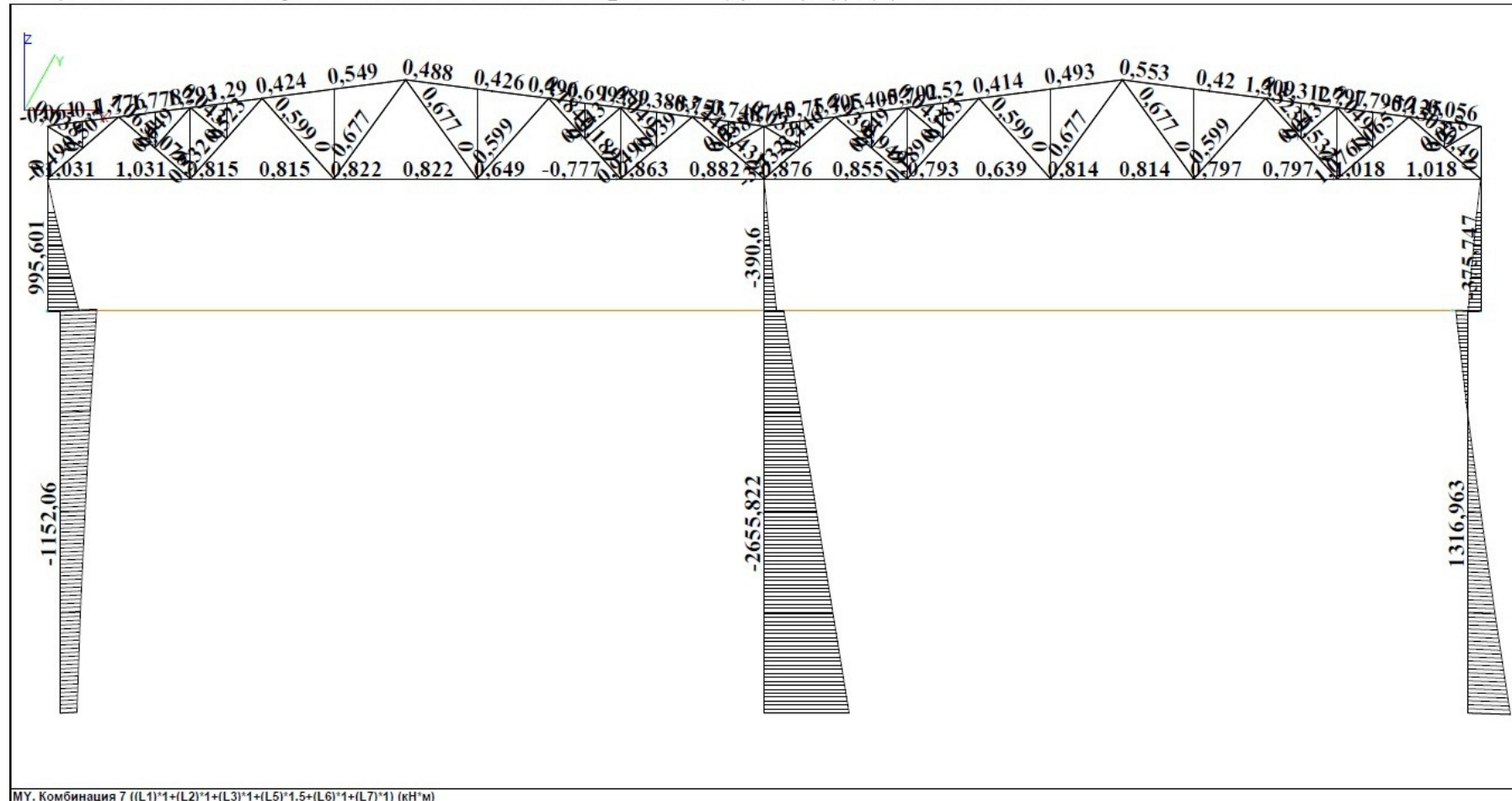
МУ. Комбинация 7 ((L1)\*1+(L2)\*1+(L3)\*1+(L5)\*1.5+(L6)\*1+(L7)\*1) (кН\*м)

 Structure CAD® 11.1


Организация	Т.В. Золина
Объект	
Проект	Расчёт рамы

Максимальный изгибающий момент (кНм) в верхней части правой крайней колонны, возникающий на этапе прогнозной задачи при приложении нагрузок по схеме 5

Рис. 5. Эпюра изгибающих моментов от действия нагрузок, приложенных по схеме 5, при решении прогнозной задачи



МУ. Комбинация 7 ((L1)\*1+(L2)\*1+(L3)\*1+(L5)\*1.5+(L6)\*1+(L7)\*1) (кН\*м)

 Structure CAD® 11.1

Организация	Т.В. Золина
Объект	
Проект	Расчёт рамы

Максимальный изгибающий момент (кНм) в верхней части левой крайней колонны, возникающий на этапе прогнозной задачи при приложении нагрузок по схеме 6

Рис. 6. Эпюра изгибающих моментов от действия нагрузок, приложенных по схеме 6, при решении прогнозной задачи



Таблица 5

Результаты расчета по МКЭ (SCAD) – максимальные значения изгибающих моментов М (кНм), возникающих в колоннах при приложении нагрузок по схемам 5 и 6

Вариант задачи	Часть колонны	Схема 5			Схема 6		
		$M_{лк}$	$M_{ск}$	$M_{пк}$	$M_{лк}$	$M_{ск}$	$M_{пк}$
Прямая	верхняя	491,7	268,8	885,7	990,7	381,7	386,7
	нижняя	1337,5	2632,7	895,1	1147,1	2699,1	1336,2
Обратная	верхняя	494,6	263,5	879,2	993,6	387,0	380,2
	нижняя	1347,2	2658,2	888,6	1150,1	2673,6	1324,8
Прогнозная	<b>верхняя</b>	496,6	259,9	<b>874,8</b>	<b>995,6</b>	390,6	375,7
	нижняя	1353,8	2676,0	884,2	1152,1	2655,8	1317,0

Примечание. Максимальные значения М в верхней части правой крайней колонны возникают при приложении нагрузок по схеме 5, в верхней части левой крайней колонны – по схеме 6.

Таблица 6

Результаты расчета по МКЭ (SCAD) – максимальные значения изгибающих моментов М (кНм), возникающих в колоннах при приложении нагрузок по схемам 7 и 8

Вариант задачи	Часть колонны	Схема 7			Схема 8		
		$M_{лк}$	$M_{ск}$	$M_{пк}$	$M_{лк}$	$M_{ск}$	$M_{пк}$
Прямая	верхняя	213,2	593,5	187,7	216,5	551,5	39,3
	нижняя	709,8	2237,0	1658,9	1548,3	2522,0	599,2
Обратная	верхняя	212,0	596,8	202,2	215,2	548,2	29,6
	нижняя	714,9	2250,4	1686,9	1543,1	2508,6	571,2
Прогнозная	верхняя	211,1	599,1	212,1	214,4	545,9	23,0
	<b>нижняя</b>	718,5	2259,8	1706,2	<b>1539,5</b>	2499,2	551,9

Примечание. Максимальные значения М в нижней части левой крайней колонны возникают при приложении нагрузок по схеме 8.

Файл проекта : C:\Users\zolina\Desktop\Внедрение результатов расчета по DINCIB-new в SCAD\расчет каркаса по МКЭ\с учетом жесткости ригеля\3-Рама (с учетом простр.раб.)-прогнозная задача.SPR

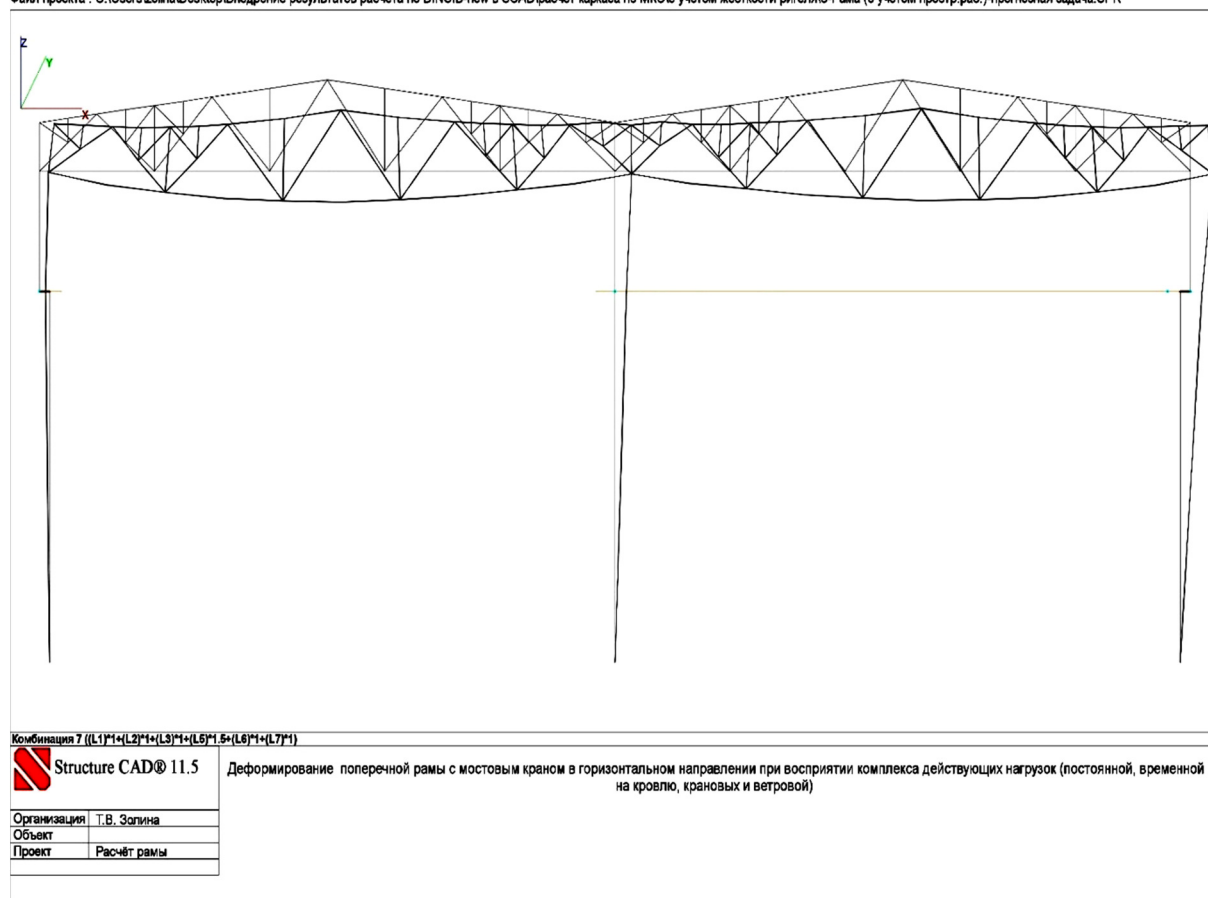


Рис. 8. Деформации поперечной рамы от действия наиболее неблагоприятного нагружения, соответствующего схеме 1 приложения нагрузок

При проведении графического анализа в окне постпроцессора SCAD получены деформации наиболее загруженной поперечной рамы в горизонтальном направлении при восприятии всего комплекса нагрузок с наиболее неблагоприятным вариантом их приложения (рис. 8).

Следует отметить, что при проведении данного анализа отображены далеко не все схемы приложения составляющих обобщенной нагрузки. Количество различных комбинаций значительно больше. Здесь выделены только те из них, что содержат максимум изгибающих моментов хотя бы в одной узловой точке физической модели здания судокорпусного цеха Астраханского морского судостроительного завода.

Фиктивные значения моментов, представленные в таблицах 3–6, позволяют организовать поиск реальных напряжений в элементах рассматриваемой поперечной рамы, при этом считая, что указанные деформации (рис. 8) вызваны снижением их жесткостных характеристик при накоплении дефектов и повреждений в процессе эксплуатации. Максимальные значения напряжений, выступающие в качестве определяющего критерия выбора наиболее неблагоприятного сочетания нагрузок и их приложения, в отдельных элементах каркаса достигаются при разных расчетных схемах. Таковые значения для частей колонн рассмотренной поперечной рамы представлены в таблице 7.

Таблица 7

Значения нормальных напряжений в колоннах (МПа), возникающих от максимальных изгибающих моментов при соответствующих схемах приложения нагрузок

Часть колонны	Левая крайняя колонна		Средняя колонна		Правая крайняя колонна	
	схема	напряжение	схема	напряжение	схема	напряжение
Верхняя	6	132,75	2	106,06	5	116,64
Нижняя	8	57,44	1	59,71	3	67,06

Таким образом, результаты, полученные согласно разработанной в данном исследовании методике, могут быть учтены в прочностном расчете каркаса одноэтажного промышленного здания любым конечноэлементным методом. Реализация предложенных алгоритмов позволяет значительно повысить качество и скорость

решения инженерных задач по оценке остаточного ресурса объекта. Принятие технически обоснованных и подкрепленных соответствующими расчетами конструктивных решений является важнейшим этапом проектирования и технического контроля над зданиями, находящимися в эксплуатации [18, 19].

#### Список литературы

1. Золина Т. В. Расчет промышленных зданий на крановые нагрузки : учеб. пособие : рекомендовано УМО вузов РФ в качестве учебного пособия для студентов строительных специальностей. Астрахань : АИСИ, 2004. 156 с.
2. Золина Т. В. Эффективное конструирование промышленных зданий с крановым оборудованием // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 9. С. 11–13.
3. Золина Т. В. Работа промышленных зданий при восприятии крановых нагрузок : монография. М. : Издат. центр «Академия», 2012. 272 с.
4. Золина Т. В. Вероятностный расчет одноэтажного промышленного здания, оборудованного мостовым краном, с учетом пространственной работы его каркаса // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура, вып. 28 (47). Волгоград, 2012. С. 7–13.
5. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Концептуальная схема исследования напряженно-деформированного состояния промышленного здания // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура, вып. 33 (52). Волгоград, 2013. С. 47–50.
6. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Методика оценки остаточного ресурса эксплуатации промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура, вып. 33 (52). Волгоград, 2013. С. 51–56.
7. Золина Т. В. Порядок проведения обследований здания с целью последующей оценки его остаточного ресурса // Вестник МГСУ. 2014. № 11. С. 98–108.
8. Золина Т. В. Реализация комплексного подхода к исследованию при выборе расчетной схемы промышленного здания // Строительство и реконструкция : науч.-техн. журнал. 2014. № 3 (53). С. 8–14.
9. Золина Т. В. Сводный алгоритм расчета промышленного объекта на действующие нагрузки с оценкой остаточного ресурса // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 3–5.
10. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Прогнозирование надежности здания при исследовании динамики его напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 20–31.
11. Золина Т. В., Туснин А. Р. Обоснование необходимости учета боковых сил, возникающих при крановых воздействиях на каркас здания // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 17–23.
12. Золина Т. В. Перекосное движение крана как одна из причин накопления дефектов и повреждений несущих конструкций каркаса промышленного здания // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2015. № 2. С. 18–25.
13. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Автоматизированная система расчета промышленного здания на крановые и сейсмические нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 14–16.
14. Программа «DINCIB – new» : свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2014613866 (дата гос. рег. в Реестре программ 09 апреля 2014 г., РОСПАТЕНТ) / Т. В. Золина, П. Н. Садчиков.
15. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Моделирование изменений матрицы жесткости промышленного здания в процессе его эксплуатации // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 19–20.



16. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Моделирование работы конструкций промышленного здания с учетом изменения жесткости в процессе эксплуатации // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 69–76.
17. Константинов И. А. Строительная механика. Применение программы SCAD для расчета стержневых систем : учеб. пособие. СПб., 2003.
18. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Прогнозируемый эффект от принятия конструктивных решений по обеспечению надежности промышленного объекта // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 68–79.
19. Золина Т. В., Туснин А. Р. Увеличение срока эксплуатации промышленного объекта введением конструктивных мер // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 41–49.

© Т. В. Золина, Ю. В. Золин

**Ссылка для цитирования:**

Золина Т. В., Золин Ю. В. Внедрение методики оценки остаточного ресурса одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами в программно-расчетные комплексы, реализующие метод конечных элементов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016. № 1–2 (15–16). С. 106–120.